



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BANCOS PARA EL SELLADO  
TÉRMICO Y LA PRUEBA DE  
TENSIÓN EN MATERIALES  
MULTICAPA.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A N**

Francisco Emmanuel Cerón Rico.

Misael Chávez Romero.

Raquel Temelo Avilés.

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



## Agradecimientos.

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACY), y al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT), quienes a través de los Doctores Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich, Vicente Borja Ramírez y Marcelo López Parra, nos dieron la oportunidad y el apoyo necesario para poder desarrollar el proyecto que exponemos en el presente trabajo.

## Francisco Emmanuel Cerón Rico.

En primer lugar quiero agradecer a las personas que me dieron la oportunidad de vivir y estudiar; mis padres Francisco Cerón y María del Carmen Rico. Gracias infinitas por sus consejos, su apoyo y por todo lo que siempre han hecho por mí, que realmente nada de esto sería posible sin su ayuda en todo aspecto, gracias por ser quienes me han guiado hasta ahora para ser quien soy, los amo con todo mi corazón. A mi hermana, Daniela, mi adoración y uno de mis grandes motores para poner más esfuerzo y dar todo siempre de mí, por sacar lo mejor de mí como ser humano y por siempre estar conmigo y apoyarme como nadie, ¡muchas gracias, ¡te amo muchísimo!

También, quiero agradecer a la familia Villeda Rico. A mis tíos, Gerardo y Greta, por ser como mis segundos padres y de igual manera siempre brindarme todo su apoyo y creer en mí, muchas gracias. A mis primos Evelyn y Gerardo, por siempre estar conmigo y ser como unos hermanos de toda la vida, gracias por sus consejos y por siempre creer en mí.

Ahora, quisiera agradecer a las personas que hicieron posible este trabajo, y no solo eso, a las personas con las que tuve la dicha de compartir mis estudios en la Universidad Nacional Autónoma de México Misael, Raquel y Gabriel, gracias especialmente a tu familia Gabo, la familia Gutiérrez Santillán, por permitirnos pasar infinidad de veces la noche en su casa, por siempre hacernos sentir como parte de su familia y por el gran apoyo que siempre nos brindaron en todo aspecto posible. Muchas gracias por todos estos momentos inigualables a lo largo de cinco años, gracias por las risas, los enojos, las derrotas y sobre todo gracias por los éxitos y por su valiosa amistad que valoro como nada, son personas increíbles que llevo siempre conmigo. Y hablando de amigos, no podría dejar de mencionar a mis mejores amigos, Alejandro Romero y Ulises González. Gracias por darme el apoyo no sólo en la escuela, sino en cada aspecto de mi vida, por estar conmigo en momentos buenos, pero nunca haberme dejado caer cuando las situaciones fueron

muy adversas, en fin, gracias por permitirme estar en sus vidas, gracias por su amistad.

Y por último, quiero agradecer a la Facultad de Ingeniería, mi alma mater, porque a través de sus aulas y profesorado pude adquirir el conocimiento necesario para desarrollar la profesión que tanto amo y siempre dando lo mejor de mí, porque con orgullo siempre he dicho y diré que soy orgullosamente parte de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Misael Chavez Romero.

El culminar un trabajo como el presentado en esta tesis genera un periodo de reflexión hacia algunos momentos de gran importancia en el pasado, como lo son los experimentados con la familia, amigos, Universidad y todas aquellas personas que intervinieron en el trayecto de tus decisiones, ya sea para bien o para mal, pues a partir de ello se forja la experiencia y el conocimiento para afrontar todos los matices de esta obra maestra llamada vida.

Las primeras personas a las que debo agradecer en este trabajo fueron aquellas que me dieron las bases para comenzar este trayecto llamado vida y que hasta el momento se mantienen firmes como robles, ellos son mis padres Ramiro Chavez Rubio y Gabriela Romero Rodríguez, quienes con su amor y cuidado siempre estuvieron tras de mí para cualquier problema que tuviese, aún recuerdo esos consejos escondidos en regaños por parte de ambos al momento de llegar muy de madrugada en esas noches de insomnio por las calles o también retumba en mí el dulce sentir de su compañía cuando en familia todos estamos reunidos para platicar de un día normal de uno menos para la vida pero uno más para la experiencia.

Los últimos días en la redacción de este trabajo generaron un cúmulo de nostalgia el cual culminaba los largos trayectos de reflexión, pidiendo a gritos una sonrisa o un momento de carcajadas y para ello nunca me falló mi familia, y en especial mi hermano Cesar con quien un momento de plática en el balcón con la compañía de nuestro gato aminoraba la nostalgia cambiándola por un momento de risas, risas que me llevaron a sentir calma.

Mi trayecto de vida hasta el momento no estaría completado si me olvidase de darle gracias a mis amigos, que más que amigos fueron una familia en estos años de carrera en la Facultad de Ingeniería de mi amada Universidad Nacional Autónoma de México (siempre orgulloso de pertenecer a mi alma mater quien me dio la posibilidad de ampliar mi horizonte cultural), si ellos fueron los que me brindaron un consejo, comida y apoyo en los buenos y malos momentos, con ellos crecí y maduré esta etapa de la vida, con ellos pase grandiosas noches en vela con

ellos me enoje, con ellos reí hasta decir basta, con ellos camine y viaje hasta donde nuestros recursos nos lo permitieron con ellos generé un vínculo llamado hermandad ellos son Francisco “*Paquito*”, Gabriel “*Gabo*”, y Raquel dos de ellos están presentes a mi lado en este trabajo.

Existe un gran número de personas a las cuales agradecer su intervención en mi trayecto de vida, y con las cuales me gustaría brindar con una copa este gran logro, es por ello que merecen un lugar en este trabajo ellos son la familia Gutiérrez Santillán, quienes adoptaron a tres personas más bajo su techo en aquellas largas noches de trabajo, quienes sin importar cuantas noches fueran brindaron todo el apoyo para poder concluir el trabajo solicitado; y en cuanto a lo personal hay una familia a la cual quisiera agradecer en este trabajo, la familia Díaz Mendoza, por mostrarme en unos cuantos días fugaces la importancia de mis logros, por compartirme un plato de comida, muchos consejos y un viaje memorable.

Siempre he guardado en mi mente la idea de que la parte final de lo que sea es una de las mejores formas de expresar algo, es por ello que debo de agradecerle a mi compañera de equipo, a quien me brindo muchas sonrisas, amor, cariño y experiencias jamás vividas además el tiempo invertido en mí y aquella confianza sin límite que deposita en mi ser en mi alma, te doy gracias convertirte en un apoyo más para no desistir en la realización de este trabajo; por todo ese gran apoyo incondicional Liliana Gutiérrez Sánchez gracias, a ti y a tu familia quienes también me ayudaron y modificaron el trayecto de lo que hoy es mi vida.

## Raquel Temelo Avilés

Agradezco a Dios por su infinita misericordia y las bondades que ha tenido para conmigo durante el trayecto de toda mi vida, sin El nada de esto hubiera sido posible, Él ha puesto en mi vida a las que personas que han hecho y siguen haciendo de mí, un mejor ser humano, por todas ellas estaré agradecida el resto de mi vida.

Gracias papá y mamá, Julio César Temelo Bello y Julieta Avilés Suárez, su amor para conmigo es inmensurable, no tengo palabras para poder describir cuan bendecida me siento por ser su hija, simplemente, son los padres perfectos para mí. Gracias por brindarme su confianza y la oportunidad de realizar mis sueños, les agradezco los sacrificios que han hecho por mí, les agradezco sus cuidados, sus desvelos, sus preocupaciones, sus enseñanzas y su tiempo, gracias por estar conmigo siempre, los amo.

Jeny, mi hermana y amiga, te agradezco todo tu apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, gracias por animarme siempre, gracias por creer en mí, gracias por ser un gran ejemplo hija, me pusiste el estándar muy alto. También te agradezco por darme a la mejor sobrina del mundo, quien me recuerda siempre lo bello que es vivir, a la que amaré por siempre como si fuera mi propia hija.

Gracias a la familia Gámez Escobar, quienes me abrieron las puertas de su casa durante 9 años, me consideraron como parte de su familia y cuidaron de mí hasta el día que concluí con mis estudios universitarios.

Otra familia con la que siempre estaré agradecida es la Familia Gutiérrez Santillán, quienes me han apoyado incondicionalmente, quienes adoptaron y cuidaron de mí y de mis compañeros de tesis como si fuéramos parte de su familia, quienes siempre tienen un lugar más en su corazón.

Una parte muy importante de mi vida y con quienes estaré siempre agradecida son todos mis amigos, así como sus familias, a ellos les debo los momentos más felices de mi vida como universitaria, ellos se convirtieron en mi familia y apoyo incondicional. Especialmente quiero agradecer a La Onda, ellos son Misa, Gabo y

Paco, quienes más que amigos son mis hermanos, con los cuales pasé los mejores y peores momentos de mi vida, quienes me regalaron su amistad y me permitieron ser parte de su vida, con quienes creé el vínculo más fuerte y hermoso de amistad, a quienes amaré por siempre y con quienes espero terminal el viaje de vida.

A mi preciosa Universidad Nacional Autónoma de México, así como a mis profesores, mil gracias, pues de parte de ellos he recibido las mejores oportunidades de mi vida, me han dado un gran regalo que no tiene precio y han cambiado mi visión acerca de la vida.



# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	
CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	1
1.1.    IMPORTANCIA DEL SELLADO TÉRMICO.....	1
1.2.    IMPORTANCIA DE PRUEBAS DE TENSIÓN EN PROBETAS SELLADAS TERMICAMENTE. ....	13
1.3.    NORMAS.....	16
CAPÍTULO II DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	18
2.1.    OBJETIVOS.....	18
2.2.    ALCANCES.....	18
2.3.    ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO.....	19
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE AMBOS BANCOS DE PRUEBAS.....	20
CAPÍTULO IV DISEÑO BANCOS DE PRUEBA.....	35
4.1.    BANCO DE SELLADO TÉRMICO.....	35
4.1.1.    DISEÑO CONCEPTUAL.....	35
4.1.2.    SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	41
4.1.3.    DISEÑO DE DETALLE.....	51
4.2    BANCO DE TENSIÓN PARA PROBETAS DE SELLADO TÉRMICO.....	77
4.2.1.    PRIMERA ITERACIÓN.....	77
4.2.1.1.    DISEÑO CONCEPTUAL.....	77
4.2.1.2.    SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	84
4.3.    SEGUNDA ITERACIÓN.....	110
4.3.1.1.    MODIFICACIONES EN EL DISEÑO CONCEPTAL.....	112
4.3.1.2.    MODIFICACIONES EN LA SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	118
4.3.1.3.    MODIFICACIONES EN EL DISEÑO DE DETALLE.....	122
CAPÍTULO V PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACION PARA LOS BANCOS DE PRUEBAS DE SELLADO TÉRMICO Y DE PRUEBA DE TENSIÓN.....	128
5.1.    PRUEBAS PARA BANCO DE SELLADO TÉRMICO.....	128
5.1.1.    SIMULACIONES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA VALIDACIÓN DE DISEÑO DEL BANCO DE SELLADO TÉRMICO DESDE UN ENFOQUE DE CAE.....	131
5.1.2.    PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL BANCO DE SELLADO TÉRMICO MEDIANTE IMÁGENES TERMO-GRÁFICAS.....	151

5.1.3.	PRODUCCION DE PROBETAS .....	157
5.1.4.	TRABAJO A FUTURO Y BANCO DE PRUEBAS BASADO EN EL DISEÑO CONCEPTUAL PRESENTE. ....	159
5.2.	BANCO DE TENSION .....	162
5.2.1.	PROTOCOLO PARA EJECUTAR LA PRUEBA DE TENSION.....	164
5.2.2.	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TENSION.....	166
5.2.2.1.	COMPARACIÓN DE LAS GRÁFICAS OBTENIDAS CONTRA LAS GRÁFICAS QUE SE MUESTRAN EN LA NORMA Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials. ....	169
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES.....		173
7.	ANEXOS .....	176
	REFERENCIAS.....	177

## INTRODUCCIÓN

La innovación de productos a nivel mundial, genera cambios y mejoras constantes en los estándares de calidad de estos, por lo cual el permanecer bajo ciertas normas de calidad, aseguran al usuario, consumidor o cliente, la satisfacción de que el producto adquirido cumple con todas las cualidades deseadas. La alta competitividad a nivel mundial hace que la innovación de dichos productos requiera nuevos procesos de producción cada vez más complejos, rápidos y eficientes para poder satisfacer las demandas solicitadas. Es debido a la razón anterior, que la operación y sobre todo la calibración de las máquinas con las cuales se realizan un gran número funciones dentro del proceso de producción juega un papel muy importante al momento de cumplir con las normas de calidad.

El gran reto que enfrenta la maquinaria de producción y en el caso específico del sellado térmico, es la calibración de las correctas variables y parámetros de operación dentro distintos ambientes, materiales, tipos de máquinas, etc. Los factores durante el proceso de sellado como la presión, la suciedad acumulada en las mordazas por el sellado continuo, la humedad y la temperatura ambiente generan condiciones diversas. Para solucionar los problemas ocasionados por tales situaciones, en la industria se realizan calibraciones empíricas en distintas máquinas, lo cual genera pérdida de tiempo útil para la producción, desperdicio de material de sellado térmico durante la calibración y problemas en el uso del producto. Por ejemplo al realizar la apertura del sello, no se puede abrir o se puede romper, y esto se traduce como un descontento del usuario final al no poder adquirir un producto con sello abre fácil o "Peel Seal".

En el caso de la normatividad para el sellado térmico, se tiene la norma (ASTM F88, 2007) (Ver anexo 7.2). En dicha norma se exponen algunas condiciones y consideraciones que se tomaron en consideración para realizar dicha prueba tales como son: las condiciones necesarias para efectuar una prueba de tensión

considerando desde la colocación de la probeta sellada, hasta los parámetros a medir durante la prueba de tensión (carga vs desplazamiento).

Es de acuerdo a la norma y a las necesidades de producción ya expuestas, que el presente trabajo hace la propuesta de dos bancos de pruebas, uno para realizar el sellado térmico en probetas estandarizadas y otro para hacer la prueba de tensión a dichas probetas.

La importancia de estos dos bancos, trabajados en conjunto, radica en tener la posibilidad de caracterizar de una manera práctica el proceso de sellado, resolviendo así los problemas que surgen al hacer la calibración en la maquinaria de producción. Por una parte, podemos conocer la temperatura, presión y tiempo de sellado mediante el banco de sellado, para posteriormente conocer las cualidades del sello con el banco para la prueba de tensión. Es decir, se puede simular y evaluar el proceso sin necesidad de intervenir directamente en las máquinas de producción.

La ventaja de trabajar con estos bancos de pruebas es el poder conocer aisladamente los parámetros de ajuste para caracterizar el comportamiento del proceso de sellado térmico, teniendo en cuenta, controlar algunas de las condiciones de frontera que están presentes en la industria de grandes empresas.

La estructura de éste trabajo, por ser una propuesta de diseño, está conformada por seis capítulos en los que exponemos el desarrollo de los bancos ya mencionados, desde la identificación de una necesidad hasta la materialización de una solución final. Primeramente, en el capítulo 1, se exponen los antecedentes necesarios para poder entender el planteamiento del proyecto, tal como la importancia del sellado térmico y de la prueba de tensión, y las normas que rigen a dicha prueba. En el capítulo 2, se presenta la definición del proyecto al exponer los objetivos y alcances propuestos, para con ello dar paso a la definición de las especificaciones generales del mismo. La metodología seguida durante el desarrollo del proyecto, así como otras metodologías de las que se retoman varios principios, se pueden observar en el capítulo 3. Las principales etapas del proceso de diseño para los dos bancos de pruebas, como son, el diseño conceptual, la

selección de componentes y el diseño de detalle, se describen en el capítulo 4. Así pues, es en ese apartado donde se concentra la mayor parte del trabajo, ya que explica las etapas en las que se invierte más tiempo durante el desarrollo de un producto, debido a que todas ellas tienen como fin materializar una idea. Con el capítulo 5 se pretende mostrar la validación de los diseños propuestos mediante pruebas de funcionamiento que abarcan principalmente análisis por elementos finitos realizados en el solver Nastran®. Por último, en el capítulo 6 se mencionan las conclusiones del trabajo y los aprendizajes obtenidos a partir de su realización.

# CAPÍTULO I ANTECEDENTES.

## 1.1. IMPORTANCIA DEL SELLADO TÉRMICO

En la actualidad el proceso de sellado térmico ha aumentado sus aplicaciones, debido a los beneficios que genera, tales como prevenir el ingreso de microorganismos en el producto, evitar el flujo de oxígeno, humedad, sabores y aromas, además de ser un proceso relativamente rápido para el empaque de productos. Desde el punto de vista ingenieril, el proceso de sellado no ha tenido auge como campo de investigación debido a que los problemas que se presentan en los procesos de sellado son resueltos de forma empírica y existen hermetismos en las empresas para proteger sus secretos industriales.

Para introducir al lector al tema de sellado y en particular al sellado térmico, se describirán a continuación las definiciones generales, tipos de procesos, ventajas y desventajas de los mismos, problemas en el sellado térmico, etc. Estas definiciones se toman del autor Kazuo Hishinum en su libro *“Heat Sealing Technology and Engineering for Packing”* (KAZUO HISHINUMA, 2009).

Un sellado es un método de cerrado de un empaque usando las propiedades de flujo y adhesión/cohesión de un material plástico. Un sellado caliente es un tipo de sellado realizado usando material termoplástico cuya temperatura es elevada con la adición de energía. Existen varios métodos para suministrar esta energía: mordazas calientes, impulso, inducción, ondas de radiofrecuencia, fricción y vibración ultrasónica. Los sellados se pueden clasificar con diferentes criterios, por ejemplo: por el método de aplicación de la energía, por presión (sellado frío), por mordaza caliente, y por el tipo de mecanismo de falla (Cohesivo, adhesivo).

Existen dos métodos diferentes para adherir dos objetos. Uno involucra suministrar adhesivo en la superficie a unir. El otro método involucra calentamiento en polímeros termoplásticos, derretirlos y presionarlos juntos para después enfriarlos, un proceso similar a lo que sucede en la soldadura de metales. La tecnología de sellado con calor utiliza el último método descrito para adherir películas termoplásticas en la Imagen 1 se muestran los diferentes mecanismos de adhesión en micro-escala, los cuales son los siguientes:

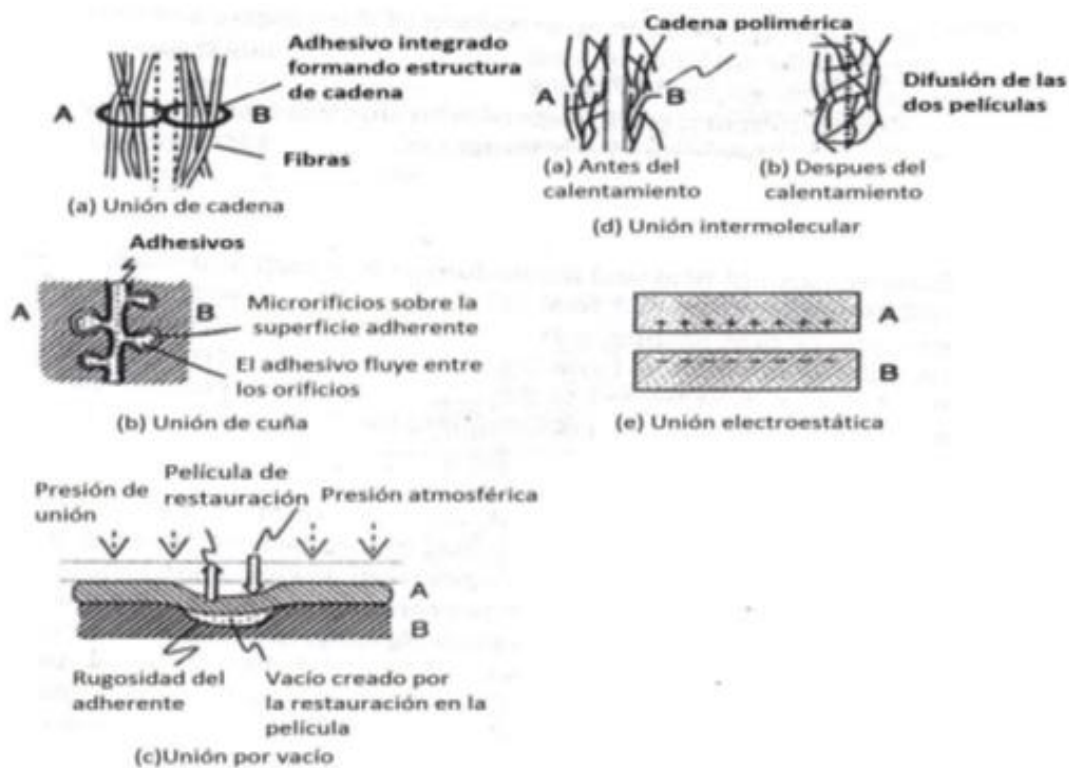


Imagen 1. Mecanismos de adhesión en micro-escala, Kazuo Hishinuma (2009).

Imagen 1 a): Unión de cadena “Chain bonding”. Utiliza la naturaleza permeable del agua y otros solventes. El adhesivo se encuentra entrelazado entre las fibras del material adherente. Se forma una estructura tipo cadena y los materiales adherentes son unidos. Un ejemplo típico de esta unión es la adhesión del papel.

Imagen 1 b): Unión de cuña “Wedge bonding”, ocurre cuando un adhesivo líquido fluye por los microorificios del material adherente. El adhesivo se solidifica y los objetos son unidos usando el efecto de cuña debido a la forma de olla en los microorificios.

Imagen 1 c): Unión por vacío “Vacuum bonding”, esta unión es hecha utilizando alta presión para sacar el aire que se encuentra entre los microorificios de la rugosidad de la superficie. Después de que el aire es removido, materiales poliméricos son agregados para restaurar la forma original del material adherente. Posteriormente se aplica vacío en los microorificios. La adhesión ocurre como resultado de la diferencia del vacío formado y la presión atmosférica. Por ejemplo, un papel mojado es un material adherente para un vidrio plano, porque no existe aire entre el papel y el vidrio.

Imagen 1 d): Unión intermolecular “Intermolecular bonding”. Es el mecanismo de unión que se utiliza en la tecnología de sellado por calor. Esta tecnología utiliza la unión intermolecular que existe entre dos materiales adherentes fusionados.

Imagen 1 e): Unión electrostática “Static electric bonding”. Comparada con otras uniones, es más fácil obtener una excelente adhesión y enlazado a escala molecular. Es obtenida como resultado de las cargas estáticas en las superficies de los materiales. Un ejemplo típico cuando dos películas plásticas se adhieren una a otra por fricción.

Definición de “Peel Seal” y “Tear Seal” según la obra *Heat Sealing Technology and Engineering for Packing*, (KAZUO HISHINUMA, 2009)

Para películas selladas con calor existen dos tipos de sellados que dependen de la temperatura de calentamiento. La primera es interfacial /pseudo-adhesión (“Peel Seal”), la cual muestra un incremento en la resistencia con el incremento de la temperatura de sellado. La segunda es la de fusión/cohesiva-adhesión (“Tear Seal”), cuyo valor de resistencia alcanza un valor máximo. Como se puede ver en la Imagen 2, existe una relación entre la temperatura en el punto de fusión de la superficie y la resistencia a la tensión del sellado caliente de la película plástica. La



pendiente del incremento de la resistencia con el aumento de la temperatura de calentamiento es dependiente del tipo de película termoplástica y de su peso

Las diferencias entre un sellado interfacial (“Peel Seal”) y un sellado por fusión (“Tear Seal”), cuando se realiza una prueba de tensión para películas selladas por

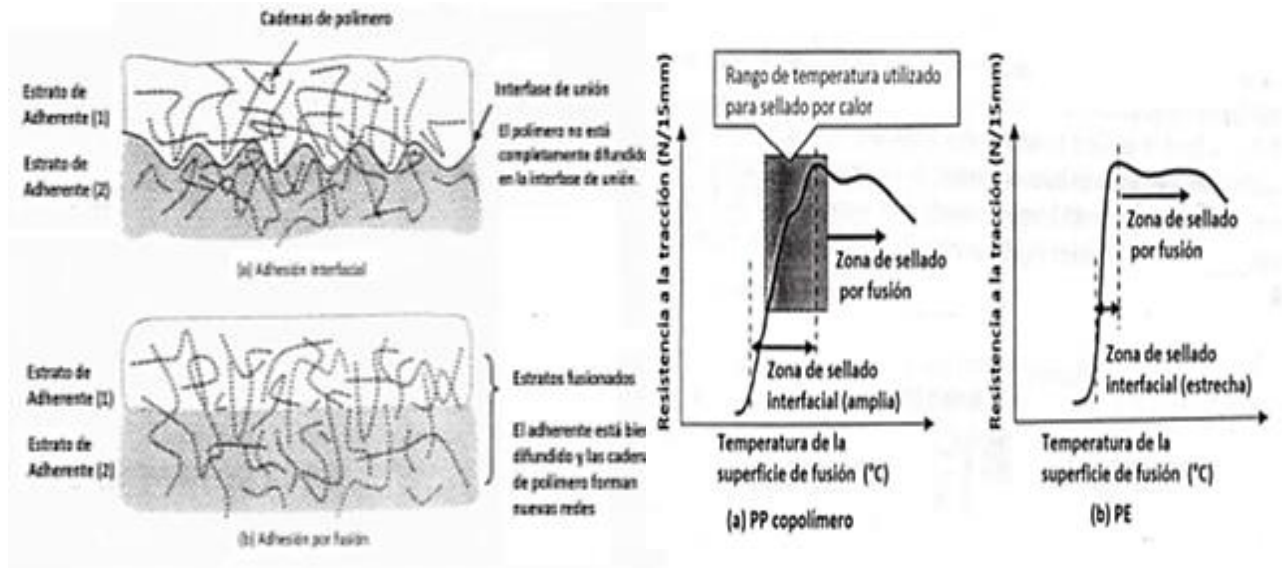


Imagen 2. Adhesión en el sellado interfacial y por fusión con sus características físicas en la prueba de tracción, Kazuo Hishinuma (2009).

calor son las siguientes: Para un sellado interfacial se produce una delaminación de las películas en la zona de sellado, dado que las moléculas no están completamente difundidas y la interface entre las dos películas es todavía idéntica. En el sellado por fusión, se produce una fractura de la película cerca del área de sellado, la razón de esto es porque en el sellado por fusión las moléculas están bien difundidas en relación una con otra.

El sellado interfacial presenta una menor resistencia comparado con el sellado por fusión como se muestra en la Imagen 3-A y 3-B.

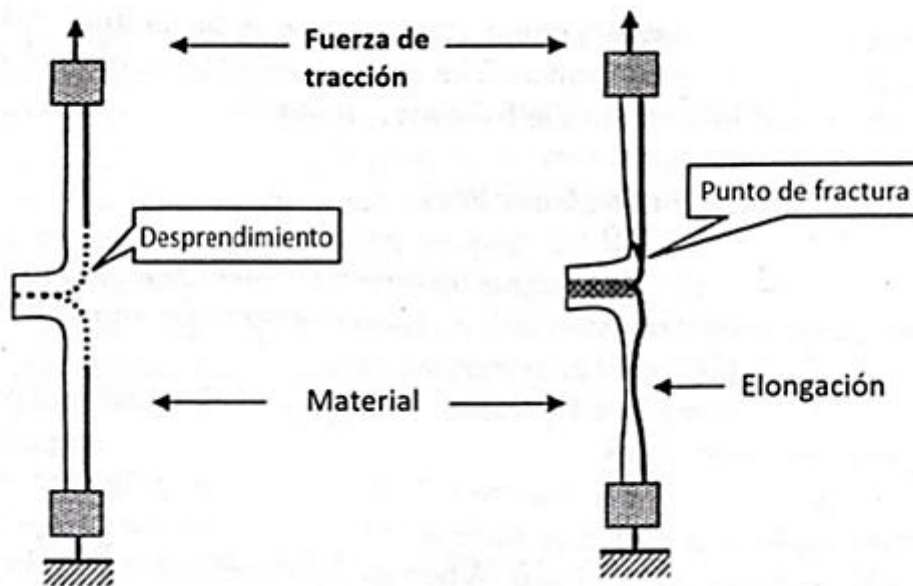


Imagen 3-A) Medios de falla del sellado interfacial Imagen 3-B) Medios de falla del sellado por fusión (KAZUO HISHINUMA, 2009)

Los tipos de sellado según la obra *Heat Sealing Technology and Engineering for Packing* (KAZUO HISHINUMA, 2009) son:

#### MÉTODO DE SELLADO POR HERRAMIENTA CALIENTE

El sellado por herramienta caliente es llamado sellado con mordaza caliente o sellado a temperatura constante, en este tipo de sellado normalmente se utilizan mordazas cuadradas, pero también se utilizan mordazas con formas rectangulares, circulares y rodillos. Es por mucho el método más utilizado para sellar, es de bajo costo y las formas que se pueden obtener del sello no están limitadas. Para controlar la temperatura se utilizan termostatos, aunque también se siguen utilizando reóstatos.

Proceso del sellado por herramientas calientes:

Energía: Se suministra calor por medio de una resistencia eléctrica en una barra de metal u otra herramienta de sellado.

Se aplica presión para juntar las dos capas de película.

El paso 2 se realiza por un determinado tiempo.

Las aplicaciones más comunes del sellado por herramientas calientes en empaques se encuentran en: “Pouches” (Bolsas), tapas de las bandejas, tapas de los vasos, “blisters” (Ampollas).

Los Polímeros que son utilizados comúnmente bajo el método de sellado por herramientas calientes son: LDPE (“Low Density Polyethylene”), PP (“Polypropylene”), PVC (“Polyvinyl Chloride”), PS (“Polystyrene”) y el PET (“Polyethylene Terephthalate”).

Las ventajas que presenta el método de sellado por herramientas calientes son:

Simplicidad.

Bajo costo de los elementos.

Fácil entendimiento del control de temperatura y de los calentadores.

Todos los polímeros sellables responden al calor directo.

Se pueden realizar sellos de casi cualquier forma (geometría).

Las desventajas que presenta el método de sellado por herramientas calientes son:

El calor debe de ser disipado después de realizado el sello, el “hottack” (pegajosidad) puede ser un problema.

Se tiene calor en todas las etapas.

Se debe de tener un tiempo de calentamiento de la mordaza.

El material se calienta por radiación mientras se acerca al área de sellado.

Demasiadas pérdidas energéticas al ambiente.

### *MÉTODO SELLADO POR IMPULSO*

El proceso de sellado por impulso según la obra *Heat Sealing Technology and Engineering for Packing* (KAZUO HISHINUMA, 2009) , se realiza de la siguiente manera:

La mordaza está fría antes de que el material entre al área de sellado.

Las mordazas se cierran.

La corriente fluye en el hilo o cinta nicromel. La resistencia del nicromel causa calentamiento cuando la corriente fluye a través de él.

Cuando la corriente se detiene el enfriamiento comienza por un tiempo determinado.

La presión mantiene los materiales unidos.

La presión se libera después del enfriamiento.

Puede ser utilizado en casi todas las aplicaciones en donde se utiliza el sellado por herramienta caliente. Las variables que intervienen en el proceso tenemos las siguientes:

Potencia o temperatura.

Tiempo (velocidad de producción, tiempo del ciclo).

Presión.

Temperatura y tiempo de enfriamiento.

Las ventajas que presenta el método de sellado por impulso son:

Previene la excesiva radiación de calor hacia el empaque.

El enfriamiento bajo la presión previene la distorsión en el área de sellado.

El enfriamiento mejora la fuerza del sello recién hecho.

Bastante simple.

Bajo costo de capital.

Todos los polímeros sellables reaccionan al calor directo.

Sellos delgados permiten una reducción en el costo del material.

Las desventajas que presenta el método de sellado por impulso son:

El costo de mantenimiento es más alto que el de sellado por herramienta caliente.

Posee más variables que controlar.

Los sellos delgados pueden no ser tan confiables.

Su aplicación es complicada para sellos de formas no lineales (vasos, bandejas, etc.).

Es difícil determinar la temperatura alcanzada.

Debe de transmitir el calor a través de la estructura la interface.

### *SELLADO POR INDUCCIÓN.*

El método de sellado por inducción según la obra *Heat Sealing Technology and Engineering for Packing* (KAZUO HISHINUMA, 2009), se basa en generar un campo magnético por medio de alimentar energía eléctrica a una bobina conductora.

Proceso del sellado por inducción:

Se aplica presión (varios métodos).

La bobina crea un campo magnético que está alternando.

El campo induce corrientes Eddy en el metal.

Debido a la resistencia del metal las corrientes Eddy provocan calentamiento.

El calor se transfiere al polímero para fundirse y realizar el sellado.

La presión mantiene al material unido.

Las aplicaciones más comunes para este tipo sellado son, cajas de cartón para jugo, sellos de botellas para mermeladas y tubos. Los polímeros que se pueden sellar con este método son: LDPE (“Low Density Polyethylene”), PP (“Polypropylene”), PVC (“Polyvinyl Chloride”), PS (“Polystyrene”) y el PET (“Polyethylene Terephthalate”). Sin embargo siempre el utilizar un metal para lograr el calentamiento. Las variables del proceso son:

Potencia.

Tiempo de inducción.

Presión.

Tiempo de enfriamiento.

Distancia.

Las ventajas que presenta el método de sellado por inducción son:

Simple de configurar y controlar.

La potencia se controla fácilmente.

Es relativamente barato.

Las desventajas que presenta el método de sellado por inducción son:

Debe de tener siempre un componente de metal, lo cual hace más difícil la detección de piezas metálicas y lo hace menos versátil que otros métodos.

El tiempo de sellado es mayor comparado con el ultrasonido.

Se tiene que realizar un diseño apropiado de la línea de producción, no se pueden usar convexas metálicas, rieles, etc.

#### *SELLADO POR ULTRASONIDO.*

El método de sellado por ultrasonido, según la obra *Heat Sealing Technology and Engineering for Packing* (KAZUO HISHINUMA, 2009), utiliza ondas ultrasónicas que se transmiten por de los sólidos a frecuencias arriba del umbral audible (16 KHz-1GHz), es un método interno que no depende de la transferencia de calor para sellar. Las ondas ultrasónicas son transmitidas al empaque por medio de un sonótrodo, el sonótrodo es la parte del conjunto oscilante que se apoya en una de las piezas a soldar, transmitiendo las vibraciones hasta conseguir la fusión entre las dos piezas., se pueden realizar varias formas de sellos. Las variables del proceso son las siguientes:

Tiempo de sujeción.

Presión.

Amplitud de onda de frecuencia con la que se realiza el proceso de sellado.

Tiempo de sellado.

En algunos sistemas se pueden controlar la cantidad de energía suministrada al sello y la frecuencia, aunque no es una variable si es una característica importante del equipo.

Las ventajas que presenta el método de sellado ultrasonido son:

Se puede utilizar en un amplio rango de polímeros.

Se puede controlar la cantidad de energía que va al sello.

Utiliza menos energía que la utilizada en la de sellado por herramienta caliente.

Previene la radiación excesiva de calor al empaque.

Es más limpio que los métodos que utilizan calor.

Es de alta velocidad.

Los sellos se pueden realizar bien, aunque exista contaminación.

Las desventajas que presenta el método de sellado ultrasonido son:

Es más costoso.

Puede dañarse si el sello se quema o derrite.

Es más complicado que los procesos que utilizan calor, debido al equipo necesario para aislamiento de sonido.

Problemas en el sellado térmico

Los problemas debidos al sobrecalentamiento en el proceso de sellado térmico extraídos del libro "*Heat Sealing Technology and Engineering for Packing*" (KAZUO HISHINUMA, 2009). Se presentan debido a la fusión del material donde las moléculas del polímero interactúan con una gran fuerza intermolecular, por lo tanto, la resistencia del sellado esta maximizado; la evaporación de materiales no polimerizados, la degradación térmica u oxidación de los materiales termoplásticos afectan el sellado aumentando su resistencia. Este fenómeno ocurre solo cuando el proceso de alta temperatura se ha terminado, dado que las películas termoplásticas tienen un bajo módulo de elasticidad.

En el monitoreo convencional del sellado con calor, los operadores cambian la temperatura de sellado de la máquina, y después inspeccionan visualmente en busca de defectos en el área de sellado. Con este método de monitoreo convencional es fácil encontrar los defectos debido a temperaturas demasiado bajas, como resultado es un método aplicado en todo el mundo. Este método no permite a los operadores saber o controlar la temperatura de fusión en la superficie. Por lo que es difícil saber en términos cuantitativos cual es el rango de temperatura en el que el sobrecalentamiento ocurre. Como resultado de esto, los operadores tienden a sobrecalentar las películas plásticas.

Los problemas provocados por el sobrecalentamiento son perforaciones y derretimiento de material fuera del área de sellado.

Mejorar la eficiencia en el proceso de sellado requiere controlar la temperatura de fusión en el área de sellado, hasta ahora no existe un método de propósito general para medir directamente la temperatura en el área de sellado, como resultado de esto la temperatura es controlada mediante la medición de temperatura en la mordaza y no la temperatura actual en el área de sellado de la película plástica como se mencionó anteriormente.

*“La calidad de la unión por sellado caliente está determinada por la resistencia a la tensión de muestras de 15-25mm de ancho de la región del sellado”. (ASTM F88, 2007)*

La presión es necesaria para reducir los huecos que puedan existir entre las superficies de las películas plásticas. El rango apropiado de presión obtenido experimentalmente ha sido de 0.08-0.2MPa. Una presión menor a 0.08MPa provocará una pérdida de conductividad térmica, resultando en una adhesión defectuosa. Una presión mayor a 0.2MPa forzara al plástico derretido a salir del área de sellado y crear “polyballs” (residuos de polímero que se presentan en pequeñas bolitas).



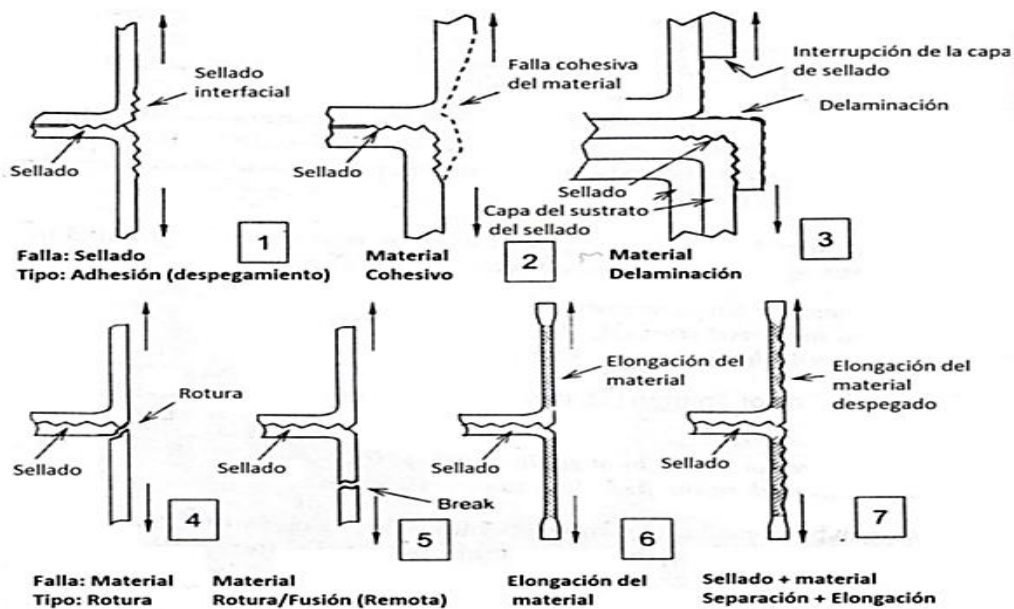


Imagen 4. Tipos de fallas en probetas realizando una prueba de tracción (ASTM F88, 2007, pág. 772)

Fallas en el sellado.

En sellado por calor existen diferentes tipos de fallas, como se observa en la Imagen 4 aparecen los distintos tipos de fallas, los cuales son descritos en la norma (ASTM F88, 2007) obtenidas como resultado de una prueba de tensión.

Los tipos de fallas de la Imagen 4 son de relevancia debido a que a partir de esta información se puede realizar una deducción en cuanto al proceso de sellado, tomando en cuenta como se produce falla, si es debido al material o bien a la calidad del sello térmico, con lo cual se concluye este apartado.

## 1.2. IMPORTANCIA DE PRUEBAS DE TENSIÓN EN PROBETAS SELLADAS TERMICAMENTE.

Los diversos problemas inherentes al proceso de sellado térmicos están directamente ligados con los parámetros de presión de sellado, temperatura ambiente y mordazas, tiempo de aplicación de energía térmica y condiciones geométricas de la mordaza. Para generar un sello con las características del sellado interfacial (Ver Imagen 2), es necesario realizar pruebas de tensión a los sellos térmicos con la finalidad de cuantificar la calidad del mismo.

Dicho de otra manera, la prueba de tensión nos genera un banco de datos donde es posible observar cuanta carga es necesaria aplicar para poder hacer que el sello térmico falle, así como estudiar cómo fue que se presentó la falla en la superficie sellada. Para entender este proceso a continuación se definirán conceptos importantes para su estudio y caracterización.

### Esfuerzo

Es el fenómeno físico puramente mecánico, es imprescindible el conocer cómo es el comportamiento de un material con base a la mecánica Newtoniana y, de igual forma, a las características propias del material, por lo cual se menciona lo siguiente:

*El comportamiento de un miembro sometido a fuerzas depende no sólo de las leyes fundamentales de la mecánica Newtoniana que rigen el equilibrio de las fuerzas, sino también de las características mecánicas de los materiales de que está hecho el miembro. (POPOV, 1999)*

Con base en el concepto fundamental de fuerza, ésta misma es analizada internamente sobre un área de contacto, a tal efecto mecánico se le conoce como esfuerzo. (BEER, JOHNSTON, MAZUREK, & EISENBERG, 2010).

Principios de mecánica de materiales.

En lo que se refiere a los principios de mecánica de materiales, podemos mencionar el comportamiento elástico y plástico en materiales, puesto que nos interesa caracteriza el sello. Para todos los materiales se tienen curvas de carga-alargamiento, en dichas curvas, se puede observar el límite elástico o límite de elasticidad el cual corresponde a la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se aplican cargas superiores al límite elástico se experimentan deformaciones permanentes y el material no puede recuperar su forma original al retirar las cargas.

Los materiales sometidos a tensiones superiores a su límite de elasticidad tienen un comportamiento plástico, lo cual ocasiona que, si las tensiones continúan aumentando, el material alcanza su punto de fractura.

El comportamiento plástico de los materiales, se suele medir, por medio de un ensayo de tensión. “Los equipos para realizarlo permiten obtener las curvas de carga/desplazamiento ( $F/u$ ) de los materiales que, luego, se convierten en curvas de tensión nominal/deformación nominal, o  $\sigma_n/\varepsilon_n$ ”. (Ashby, 2008).

$$\sigma_n = \frac{F}{A_0}$$
$$\varepsilon_n = \frac{u}{I_0}$$

Donde  $F$  es la fuerza aplicada durante el ensayo de tensión medida en N,  $A_0$  el área inicial de la probeta la cual es constante, medida en  $m^2$ ,  $\sigma_n$  es la tensión nominal (Pa),  $U$  el desplazamiento de la probeta durante el ensayo de tensión medida en m,  $I_0$  la longitud inicial de la probeta en m y  $\varepsilon_n$  el deformación nominal la cual es adimensional.

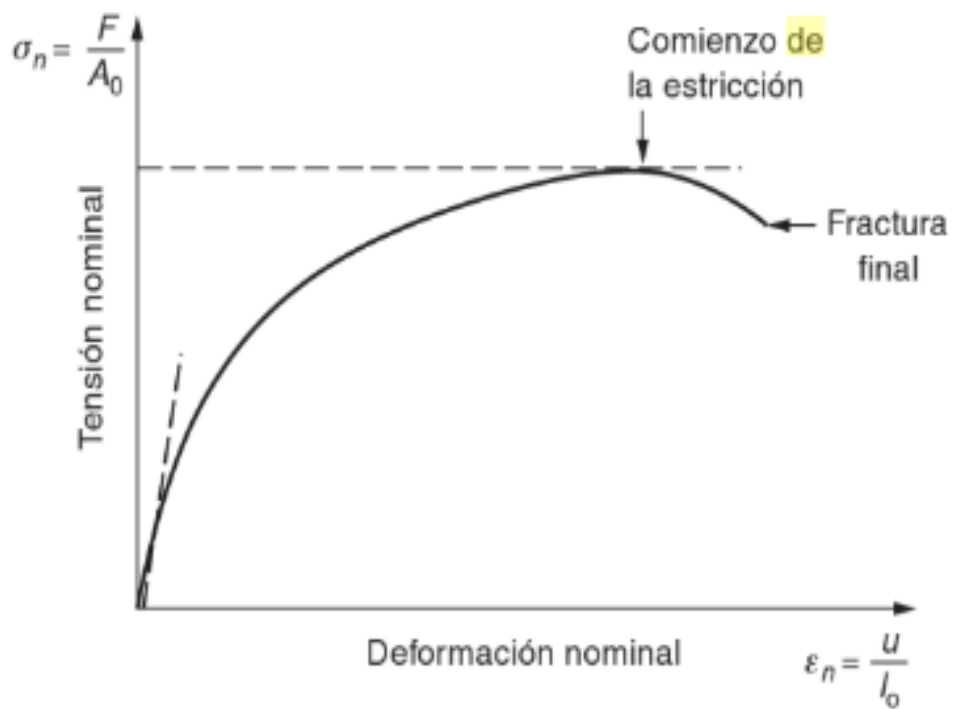


Imagen 5. Curva de tensión nominal (POPOV, 1999)

Finalmente, todo lo expuesto en las páginas anteriores, forman los antecedentes y sustento del proyecto para el diseño de bancos de prueba para sellado térmico y de prueba de tensión para probetas selladas térmicamente.

### 1.3. NORMAS.

Para el desarrollo del proyecto se usó la estandarización de las pruebas de tensión o tensión mediante un protocolo de pruebas basado en la norma (ASTM F88, 2007), de la cual se pueden obtener los valores de los parámetros más importantes durante el sellado térmico.

La prueba de tensión es posible reproducirla mediante máquinas para ensayos de tensión comerciales, así como en laboratorios. Las probetas requeridas deben tener un ancho de 15, 25 o 25.4 mm, con una longitud de 75mm más el ancho X de la mordaza (Imagen 6) y son sujetada por sus dos extremos con cualquiera de las tres técnicas que se describen a continuación y muestran en la Imagen 7, cuidando el sello sea equidistante a cada mordaza y esté alineado perpendicularmente a la dirección del movimiento de las mordazas según lo descrito por la norma (ASTM F88, 2007) .

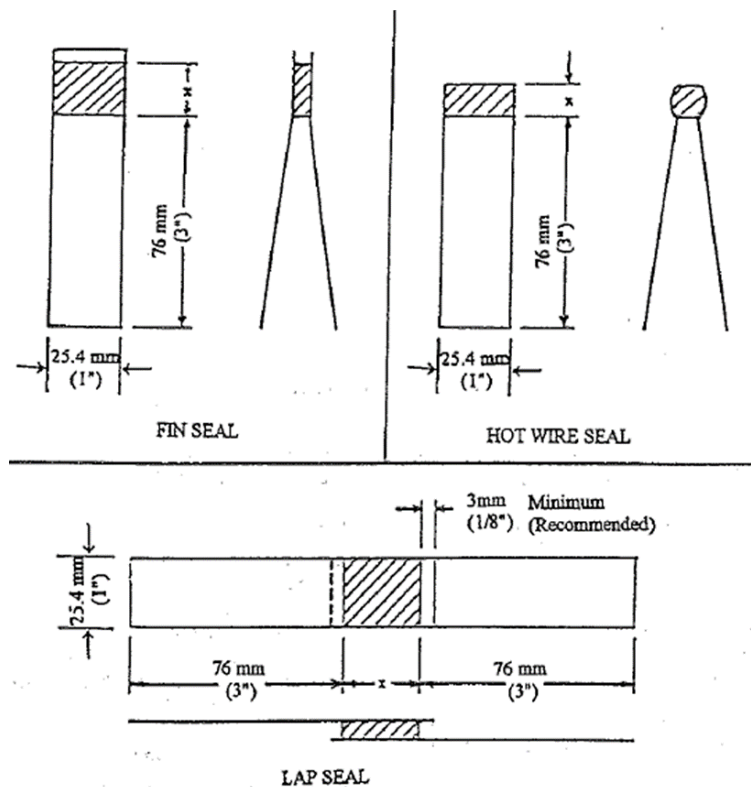


Imagen 6. Dimensiones de las probetas (ASTM F88, 2007)

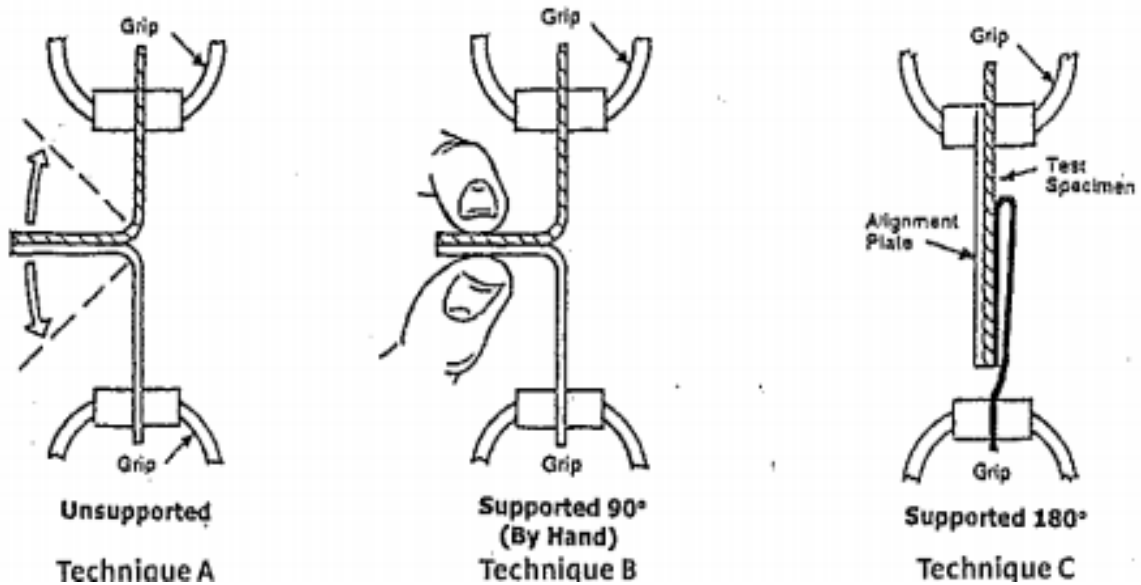


Imagen 7. Técnicas de sujeción de probetas (ASTM F88, 2007)

Técnica A: Sin soporte, en donde los extremos de las probetas son sujetados a las mordazas y el remante queda sin soporte mientras se realiza la prueba.

Técnica B: Soporte a 90° (Manual) en donde los extremos de las probetas son sujetados a las mordazas y el remante queda soportado manualmente a un ángulo de 90° respecto a la línea de tensión durante la prueba.

Técnica C: Soporte a 180°, en donde el extremo más flexible es soportado en una mordaza equipada con un elemento de apoyo que es colineal. Los extremos de las probetas son sujetados a las mordazas, pero en una de ellas se tiene un elemento coplanar a la línea de tensión.

La prueba se realiza a una velocidad constante entre 200 y 300 mm/min. Durante la prueba se hace el cálculo de la fuerza normal de manera digital para hacer la gráfica de dicha fuerza contra el desplazamiento de las mordazas que sujetan la probeta, es decir, la fuerza y el desplazamiento se deben medir de forma continua en N vs m todo esto explicado en la norma (ASTM F88, 2007, pág. 769).

## CAPÍTULO II DEFINICIÓN DEL PROYECTO.

### 2.1. OBJETIVOS.

El desarrollo del proyecto durante todas sus etapas no debe de perder de vista los objetivos que a continuación se enlistan, pues esto permitirá tener siempre claro el propósito de cada acción que se tome para llegar a los resultados deseados.

- Plantear una metodología de trabajo para el diseño de ambos bancos de pruebas.
- Realizar el diseño de detalle y manufactura de un banco de pruebas de sellado térmico, para la fabricación de probetas.
- Realizar simulaciones en CAE para validación de diseño de elementos críticos.
- Obtención de imágenes termográficas para analizar resultados.
- Obtener planos detallados de cada banco de pruebas para manufactura externa.
- Realizar el diseño de detalle y manufactura de un banco de pruebas de tensión, para la caracterización de probetas según la norma (ASTM F88, 2007) fabricadas con el banco antes mencionado.

### 2.2. ALCANCES

A pesar de que el proyecto es muy amplio y se tiene una gran cantidad de temas referentes a él para investigar, es necesario delimitar los alcances de este trabajo, de modo que la siguiente lista de alcances está planificada para un periodo limitado en tiempo.

- Realización de planos a detalle del banco de pruebas de sellado térmico.
- Realización de planos a detalle del banco de pruebas para la tensión de probetas.
- Lista de elementos comerciales y costo.

- Discusión de resultados en función de los mismos y de simulaciones obtenidas mediante herramientas de CAE.
- Discusión de los datos obtenidos mediante las imágenes termográficas y los obtenidos mediante simulación térmica en FEM.
- Manufactura y ensamble del banco de pruebas de sellado térmico.
- Manufactura y ensamble del banco de pruebas de tensión para las probetas.
- Caracterización del sello en las probetas.

A partir de lo planteado en estos alcances queda abierta una línea de investigación para profundizar en diversos temas tanto para el sellado térmico, como para la prueba de tensión.

### 2.3. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO.

El banco de sellado térmico debe satisfacer lo siguiente:

- Tener un grado de libertad lineal, el cual permita prensar la probeta colocada.
- Tener el control de la temperatura en las superficies de sellado.

El banco de tensión de probetas debe satisfacer lo siguiente:

- Poseer un elemento de sujeción, el cual impida el deslizamiento de las probetas sujetas.
- Contar con un grado de libertad lineal, el cual permita la ruptura de las probetas.
- Desplazarse a una velocidad entre 200 y 300 mm/min, con base a la norma (ASTM F88, 2007)
- Tener un dispositivo capaz de medir la fuerza utilizada para romper el sello térmico.



## CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE AMBOS BANCOS DE PRUEBAS

Para explicar la metodología ejecutada en el desarrollo de este proyecto se citará una de las frases del Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich que dice “En el diseño todo es verdad y todo es mentira según los argumentos que utilizas para defender alguna situación de diseño”. El sentido primordial de la frase anterior no es estrictamente literal, más bien hace referencia a la libertad que tiene el diseñador al momento diseñar. Si bien, el objetivo del diseñador es satisfacer determinadas necesidades, éste tiene la opción de hacerlo de la manera que considera conveniente, siguiendo su propio proceso, de modo que para alguna persona una metodología puede ser su verdad mientras que para otra persona no es así.

Para el proceso de diseño, diferentes autores, proponen diversas metodologías , donde se aplican los mismos conceptos y recalcan pasos importantes que todo diseñador sigue de manera directa o indirecta. En el caso de este trabajo no se puede afirmar que se siguió estrictamente alguna metodología, más bien, se tomó de ellos, algunos pasos para adecuarlos a un proceso de diseño propio. Por lo anterior se hizo la consulta de algunos autores expertos en el tema en ingeniería de diseño y diseño del producto, tales como Karl T. Ulrich o Michael French en sus obras “*Diseño y desarrollo de un producto*” (ULRICH & EPPINGER, 2009) y “*Conceptual Design for Engineers*” (FRENCH, 1999). De igual modo se retomaron principios de la metodología utilizada en el *Taller de Productos Innovadores* (Dr Vicente Borja Ramírez et al).

En este apartado se explicará cronológicamente las etapas de la metodología para el desarrollo del proyecto, que se expresa de manera gráfica en el Diagrama 1.

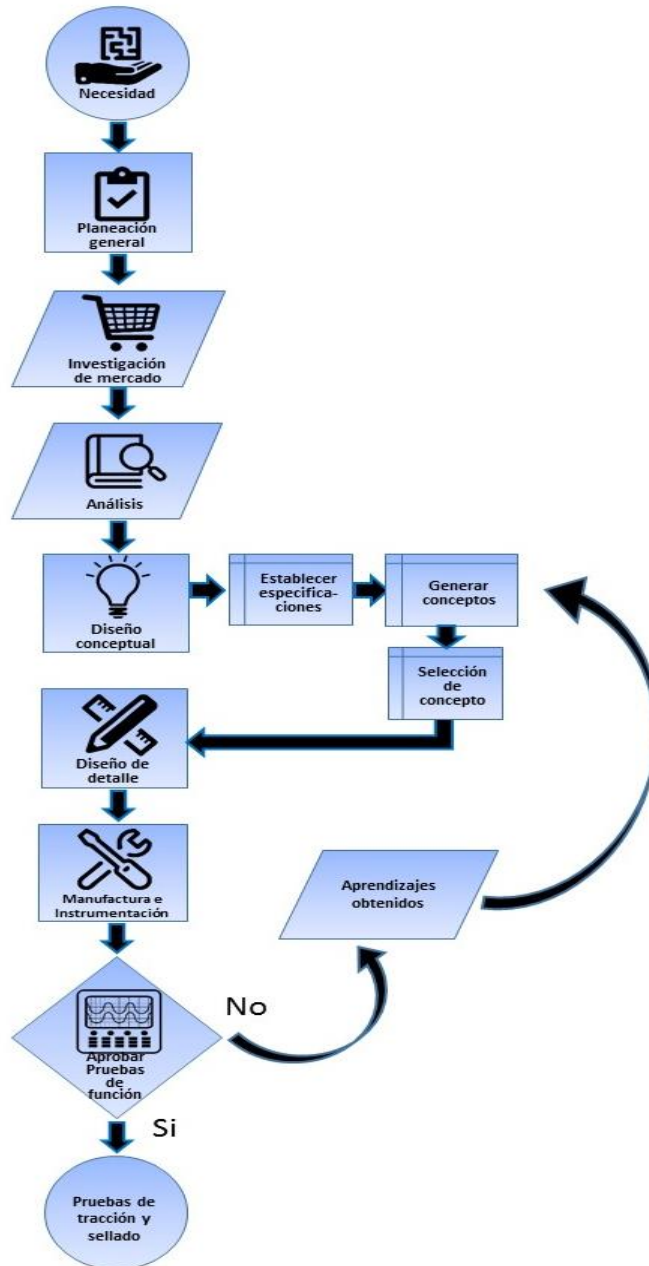


Diagrama 1. Descripción de la metodología empleada propiamente para el diseño de los bancos de pruebas de sellado térmico y de tracción en este trabajo.

Las metodologías que se toman en cuenta para llegar a la presentada en el diagrama 1 se ilustran a manera de diagramas a continuación.



Diagrama 2. Fases del proceso de diseño (ULRICH & EPPINGER, 2009)

Fase 0: Planeación	Fase 1: Desarrollo del concepto	Fase 2: Diseño a nivel sistema	Fase 3: Diseño de detalle	Fase 4: Pruebas y refinamiento	Fase 5: Inicio de producción
<b>Mercadotecnia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Articular oportunidad de mercado.</li> <li>• Definir segmentos de mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recabar necesidades de clientes.</li> <li>• Identificar usuarios líderes.</li> <li>• Identificar productos competitivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar plan para opciones de producto y familia extendida de productos.</li> <li>• Establecer objetivos de precios de venta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar plan de mercadotecnia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar promoción y lanzar materiales.</li> <li>• Facilitar pruebas de campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poner la primera producción a disposición de clientes clave.</li> </ul>
<b>Diseño</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar plataforma y arquitectura del producto.</li> <li>• Evaluar nuevas tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar factibilidad de concepto del producto.</li> <li>• Desarrollar conceptos de diseño industrial.</li> <li>• Construir y probar prototipos experimentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar arquitecturas alternativas de producto.</li> <li>• Definir subsistemas e interfaces principales.</li> <li>• Refinar diseño industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir geometría de piezas.</li> <li>• Seleccionar materiales.</li> <li>• Asignar tolerancias.</li> <li>• Completar documentación de control de diseño industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probar confiabilidad.</li> <li>• Probar vida útil.</li> <li>• Probar desempeño.</li> <li>• Obtener aprobaciones legales.</li> <li>• Implementar cambios de diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los resultados de la primera producción.</li> </ul>
<b>Manufactura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar restricciones de producción.</li> <li>• Establecer estrategia para la cadena de suministro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar costo de manufactura.</li> <li>• Evaluar factibilidad de producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar proveedores para componentes clave.</li> <li>• Efectuar análisis de fabricar contra comprar.</li> <li>• Definir esquema final de ensamble.</li> <li>• Establecer costos objetivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir procesos de producción de piezas.</li> <li>• Diseñar herramental.</li> <li>• Definir procesos de aseguramiento de la calidad.</li> <li>• Iniciar adquisición de herramienta para fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar el inicio de producción de los proveedores.</li> <li>• Refinar procesos de fabricación y ensamble.</li> <li>• Capacitar personal.</li> <li>• Refinar procesos de aseguramiento de la calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar operación de todo el sistema de producción.</li> </ul>
<b>Otras funciones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación: demostrar tecnologías disponibles.</li> <li>• Finanzas: indicar metas de planeación.</li> <li>• Dirección general: asignar recursos al proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzas: facilitar análisis económico.</li> <li>• Legal: investigar cuestiones de patentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzas: facilitar análisis de fabricar contra comprar.</li> <li>• Servicio: identificar cuestiones de servicio</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventas: desarrollar plan de ventas.</li> </ul>	

Imagen 8. Proceso genérico de desarrollo del producto. Se muestran seis fases, incluyendo las tareas y responsabilidades de las funciones clave de la organización para cada fase (ULRICH & EPPINGER, 2009).

Contrastando la metodología anterior, la propuesta de French (FRENCH, 1999) .

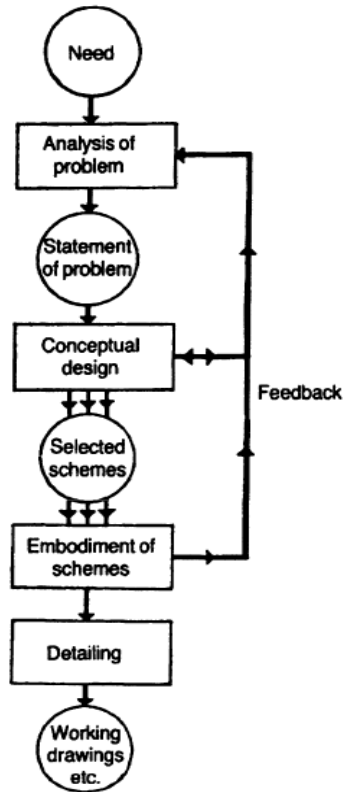


Diagrama 3. Bloques del proceso de diseño (FRENCH, 1999),

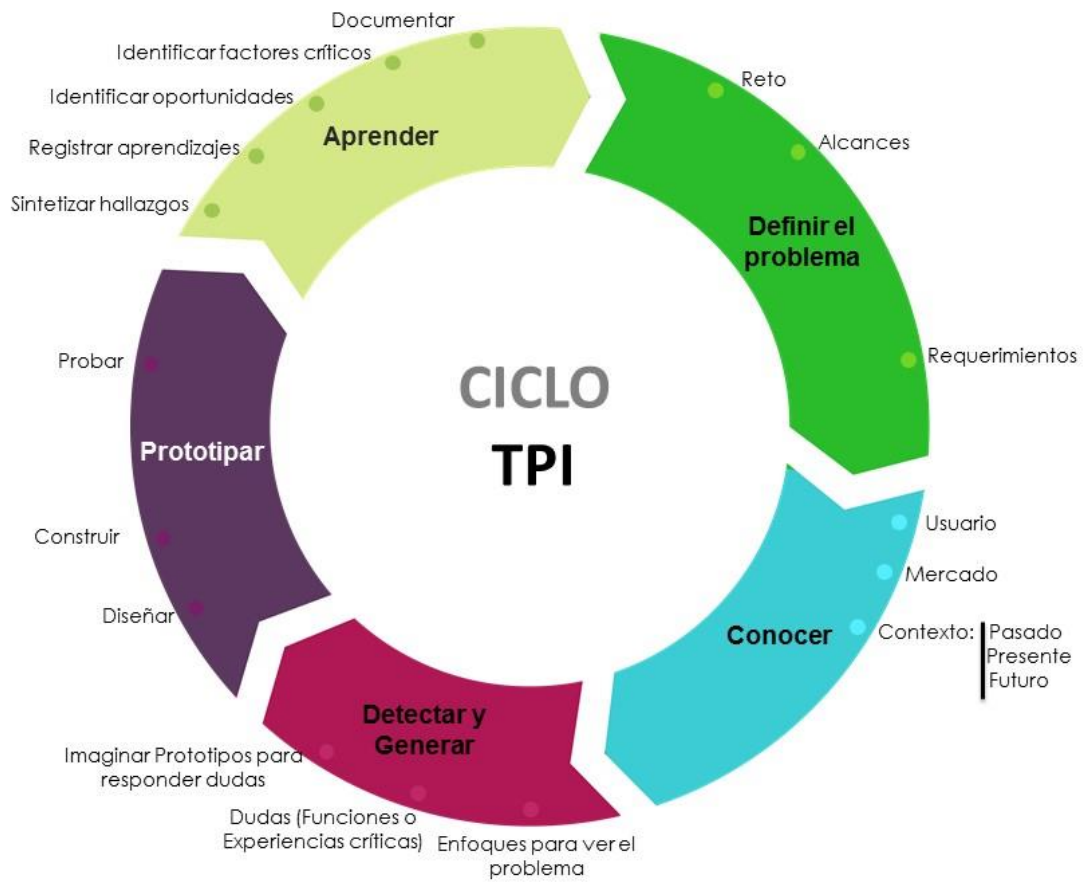


Diagrama 4. Etapas del ciclo TPI (Dr. Vicente Borja Ramírez et al.)

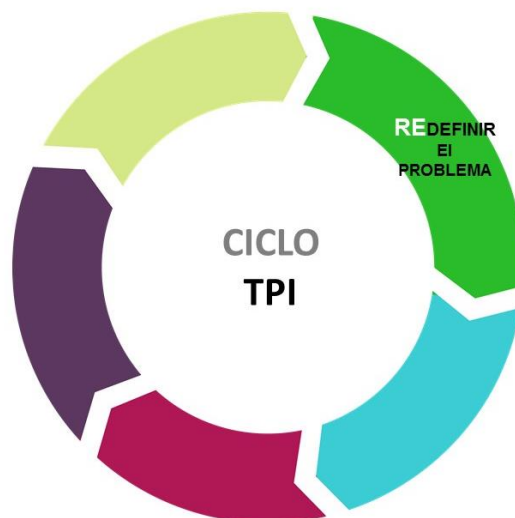


Diagrama 5. Etapas del ciclo TPI para la redefinición de un problema (Dr. Vicente Borja Ramírez et al)

En el Diagrama 1, correspondiente a la metodología propia de este proyecto, los círculos representan el inicio y fin del proceso de diseño propio de este trabajo, los rectángulos representan los procesos mientras que los rombos son los datos de entrada. Algunas de estas etapas han sido retomadas de las 3 metodologías, principalmente, que se han mencionado en este apartado, por lo que durante su explicación se hará referencia a la fuente de la cual provienen.



El proceso de diseño se inició en momento en el que surgió la necesidad de ejecutar una prueba de tensión en probetas “termoselladas” para poder medir cómo influyen los parámetros de presión, temperatura y tiempo, durante el proceso de sellado térmico.

El proceso de diseño inició con la identificación de las necesidades y requerimientos tanto del cliente que se describen a detalle en el capítulo IV de este documento. Si bien parte de esta etapa se ubica en la *fase 0*, otra parte también atiende a los dos primeros bloques del Diagrama 3, pues se han tomado en cuenta los siguientes elementos de la metodología (FRENCH, 1999) para el análisis del problema de acuerdo a la necesidad:

- Una declaración del problema propiamente dicho, que para el caso de este proyecto, esta declaración o planteamiento del problema primero se le hizo al Dr. Alejandro Ramírez Reivich, Dr. Vicente Borja Ramírez y Dr. Marcelo López Parra, quienes posteriormente transmitieron la información al equipo de diseño el cual durante esta etapa definió objetivos y alcances para el presente proyecto.
- Las limitaciones de la solución, principalmente marcadas por la norma (ASTM F88, 2007), pues la prueba de tensión que es el

fin último del desarrollo de ambos bancos, tiene que ser normalizada conforme a dicha norma. Otras limitantes encontradas, fueron las propias de los requerimientos expresados de acuerdo a las necesidades declaradas. el mayor reto encontrado en esta etapa, consistió en poder obtener la curva de esfuerzo contra desplazamiento de la ruptura de un sello térmico de acuerdo a la norma y con una resolución adecuada.

- El criterio de excelencia para ser trabajado, que es determinado en gran parte por el costo, pues tal como se menciona (FRENCH, 1999), este es un parámetro que se debe tomar en cuenta en toda solución de una problemática. Con el presupuesto destinado al proyecto, se buscó tener los mejores componentes y la mejor manufactura para ambos bancos ya que estos dos bancos significan sólo el inicio de una línea de investigación, lo cual puede implicar que posteriormente estos bancos son susceptibles a modificaciones para realizar otra clase de pruebas y será necesario que aun siga en buen estado todo el equipo. Este criterio de excelencia también fue determinado tomando en cuenta como un parámetro, el alcanzar una resolución mínima para las pruebas que supere la resolución brindada por las máquinas en el mercado que realizan las mismas pruebas.



La planeación general, inicialmente estuvo a cargo del Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich, el Dr. Vicente Borja Ramírez y del Dr. Marcelo López Parra, quienes son los asesores del proyecto. Ellos se encargaron de definir la magnitud y alcances del proyecto para después transmitir al equipo de diseño esa información que

se tomaría en cuenta en el desarrollo de ambos bancos de pruebas.

Para los autores Ulrich y Eppinger, la planeación o fase 0 (*Diagrama 2*), precede a la aprobación del producto inicia con una estratégica corporativa e incluye la evaluación de desarrollos tecnológicos y objetivos del mercado. La salida de la fase de planeación es la declaración de misión del proyecto, la cual especifica el mercado objetivo del producto, metas del negocio, suposiciones clave y restricciones. En el caso de este proyecto, se pretende responder a las necesidades demandadas por la industria en el ámbito del termo sellado.



Investigación  
de mercado

La investigación de mercado que realizamos consistió en buscar información relacionado con el funcionamiento de máquinas que desempeñan la misma función que los bancos de pruebas a diseñar, poniendo especial atención a las oportunidades de mejora para nuestro proyecto. A partir de esta investigación pudimos identificar las necesidades que se traducirían en especificaciones.



Análisis

El análisis del problema presentado se enfocó en revisar el marco teórico para poder identificar requerimientos y restricciones para el diseño de ambos bancos, específicamente analizamos el problema atendiendo a la norma (ASTM F88, 2007).



Diseño  
conceptual

El apartado titulado “*Diseño Conceptual*”, explica de manera detallada esta etapa de nuestra metodología, pero a grandes rasgos, durante esta etapa se buscó interpretar las necesidades para obtener especificaciones y con ello se hizo una búsqueda y



selección de componentes para que con todos esos elementos se pudiera bocetar un primer diseño general que contemplara cubrir todos los requerimientos para el mejor funcionamiento de nuestros bancos de pruebas.

El equivalente de esta fase para Ulrich es la fase 1, *Desarrollo del concepto*, donde identifican las necesidades, se generan y evalúan conceptos alternativos del producto y se seleccionan uno o más para el desarrollo y pruebas adicionales. Este concepto va acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de producto de la competencia y una justificación económica del proyecto. En el caso de la fase de desarrollo de concepto, se tomaron en cuenta todas las tareas propuestas para esa fase en la imagen 8, y se explicarán de manera detallada en el apartado denominado *Diseño conceptual*. De las tareas propuestas para esta fase, se consideró importante el hacer un prototipo experimental pero de funcionalidad limitada sólo para determinar la mejor disposición de los componentes para ambos bancos (ver Imagen 9) y habiendo seleccionado un diseño se hizo también la cotización para los componentes y la manufactura de ambos bancos.

El diseño conceptual para Michael J. French es la fase o etapa en la que se invierte más tiempo y la que demanda más diseño e innovación, pues la ingeniería, el conocimiento práctico, los métodos de producción y los aspectos comerciales se aplican en conjunto para generar la mejor solución o idea que satisfaga las necesidades, además de que en esta fase las decisiones más importantes son tomadas. Es en esta fase en donde se originan diversas alternativas de solución, las cuales, después de ser evaluadas, conducen a la selección de las más convenientes (FRENCH, 1999).



*Imagen 9. Prototipos de funcionalidad limitada para banco de pruebas de sellado térmico y de tensión.*



Al igual que para el “*Diseño conceptual*”, para el “*Diseño de detalle*” también se le dedicó un apartado que lleva el mismo nombre y que explica el diseño detallado a través del modelo sólido y sus planos. En esta etapa también se realizaron algunos análisis con el Método de Elementos Finitos para piezas críticas para aprobar el diseño mecánico. Las bases de esta etapa se consultaron de la fase 3 de la primer metodología mencionada (ULRICH & EPPINGER, 2009), que incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes únicas del producto (anexo 7.4 y 7.5) así como la identificación de todas las partes estándar a ser adquiridas de

proveedores. La salida de esta fase es la documentación de control de producto, es decir, los dibujos o archivos de computadora que describen la geometría de cada una de las piezas, las especificaciones de las piezas compradas, y los planes de proceso para la fabricación y ensamble de producto.

Algunas tareas implícitas en esta etapa corresponden a la fase 2 (ULRICH & EPPINGER, 2009), como es la identificación de proveedores para los componentes o sistemas mecánicos, eléctrico-electrónicos y neumáticos. Con lo cual se puede establecer el costo del proyecto y definir el esquema final de ensamble entre componentes y piezas que conforman ambos bancos de pruebas.

Al igual que para Ulrich, para French lo que se obtiene en esta fase, normalmente es un conjunto de dibujos y esquemas que describen la idea y es aquí en donde puede haber una realimentación con la fase de diseño conceptual y análisis del problema. Para nosotros este proceso se sigue de manera muy similar a lo que propone French, ya que a través de la realimentación posterior a hacer tangible la propuesta seleccionada en la fase de diseño, se hizo un rediseño con soluciones que no se tenían contempladas. Estas soluciones surgieron una vez que se ha experimentado con la propuesta seleccionada y se ha encontrado una oportunidad de mejora.

Aunque se retomaron ideas que siguen el Diagrama 3, en el proyecto desarrollado no se separan las fase de hacer tangibles las ideas generadas con la fase de hacer el diseño de detalle. Estas últimas fases son consideradas como iterativas y la ventaja en ello es que siempre se busca mejorar la idea para sacrificar lo menos posible y así obtener el producto que satisfaga las



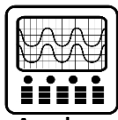
necesidades del cliente. Para el presente proyecto, lo anterior se traduce en la posibilidad de realizar pruebas de tensión de un sello térmico con la mejor precisión y resolución muy precisa la fuerza ejercida en cada instante contra el desplazamiento de la probeta al ejecutar la prueba.

La etapa de manufactura no nos correspondió ejecutarla directamente, pues todas las piezas fueron mandadas a manufacturar dando las especificaciones a través de planos y bocetos, para únicamente nosotros tener que hacer la revisión de cada pieza, así como de sus ajustes y ensamble para con las demás. Por otro lado, de una parte, de la instrumentación si estuvimos a cargo, está etapa la explicaremos detalladamente dentro de una sección del Diseño *de detalle*, ya que estas dos etapas van de la mano.

Algunas tareas referentes a la manufactura como las describen Ulrichy Eppinger, se omiten, puesto que no fue realizada de manera directa, sino únicamente del diseño. Lo anterior implica que, para las tareas de definir el proceso de producción, diseñar herramental, definir procesos de aseguramiento de calidad, e iniciar la compra de la herramienta de producción, únicamente se tuvo la participación al especificar los acabados y las tolerancias para cada pieza.

La fase que el autor denomina como *Detallando*, es la última fase de su proceso, en la cual muchos puntos, quedan definidos. La calidad de este trabajo debe ser buena pues en caso contrario se puede incurrir en retrasos, gastos o incluso en fracaso ya que son

los cálculos lo que reduce la posibilidad de errores (FRENCH, 1999). Esta fase, como la presenta Michael French, no se podría separar de la fase en que se hacen tangibles las propuestas de solución del proyecto, por lo que las ideas de la etapa *Detallando* se toman en cuenta en esta etapa así como en la anterior.



Aprobar  
Pruebas  
de  
función

En esta etapa se hizo la calibración y las primeras pruebas de funcionamiento para ambos bancos, y es aquí donde se considera hacer o no, un rediseño de acuerdo al funcionamiento desempeñado. En el caso del *Banco para el sellado térmico*, no fue necesario hacerlo. Para el *Banco para la prueba de tensión*, en esta etapa se tuvo que hacer un análisis de los aprendizajes obtenidos en las primeras pruebas de funcionamiento para luego hacer un rediseño que corrigiera algunos y mejorara parte del funcionamiento.

Las tareas retomadas de Ulrich fueron probar la confiabilidad, probar el desempeño e implementar cambios en el diseño, por lo que las pruebas principales estuvieron enfocadas en la adquisición de datos. Estas tareas las menciona en la fase 4 (Diagrama 2), que comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de preparación del producto. Los primeros prototipos (llamados alfa) por lo regular se construyen con piezas destinadas a producción para determinar si el producto funcionará como está diseñado y si el producto satisface las necesidades de los clientes clave. Los siguientes prototipos (llamados beta) por lo general construyen con piezas obtenidas de los procesos destinados a producción, pero no se pueden ensamblar usando el proceso de ensamble final pretendido. Estos últimos prototipos son evaluados exhaustivamente en forma interna y también en general son

probados por los clientes teniendo como meta responder preguntas de operación y confiabilidad para identificar cambios de ingeniería necesarios para el producto final. (ULRICH & EPPINGER, 2009)

Por último, se mencionaran algunos conceptos tomados de una metodología utilizada en el Taller de Productos Innovadores (Dr. Vicente Borja Ramírez et al.), o TPI por sus siglas, que es un taller multidisciplinario en el que participan la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Contaduría y Administración, y la Facultad de Diseño Industrial de la UNAM, con el fin de desarrollar productos para diferentes empresas aplicando el concepto de *Diseño orientado al usuario*. Esta metodología está basada en la metodología del “*Design Thinking*” pero adaptada al carácter didáctico que tiene el TPI y sólo retomamos algunos de sus conceptos de algunas etapas, no porque esta metodología sea menos importante, sino porque esta metodología está más enfocada al diseño Industrial que tiene como sustento el diseño orientado al usuario y que en este proyecto se toma en cuenta pero no es la prioridad, ya que se busca satisfacer una necesidad demanda por el cliente, pero como tal, el cliente no será el usuario directo de los bancos de prueba, ya que únicamente demanda los resultados obtenidos de las pruebas hechas en dichos bancos y los usuarios directos son aquellas personas que interactúen con los bancos y los manipulen para obtener resultados y quien continúe con la línea de investigación propuesta.

Las etapas principales de esta metodología adaptada se pueden observar en los Diagramas 3 y 4 que describe el ciclo del TPI (Dr. Vicente Borja Ramírez et al.), y se muestra a manera de ciclo ya que en este taller se busca siempre la posibilidad de un Rediseño siguiendo las mismas fases con el fin de buscar la mejora continua hasta lograr la mayor satisfacción posible para el usuario.

De las etapas del ciclo TPI (Dr. Vicente Borja Ramírez et al), se retoman algunos de los siguientes conceptos y los aplicamos de manera indirecta, por lo que las mencionamos de manera aislada a la descripción de las etapas de la metodología que describimos anteriormente.

- De la etapa titulada Definir el problema, que es muy similar a las primeras etapas de todas las metodologías consultadas, en el caso del presente proyecto. Se hizo la definición de los alcances y requerimientos con todas las implicaciones que ya se han mencionado.
- Para la Etapa Conocer, se enfocó un tiempo a conocer todo lo referente al proceso de sellado térmico y lo referente a la prueba de tensión, de igual modo se realizó una búsqueda de los productos que tienen la misma o similar aplicación a los bancos que diseñaríamos.
- La etapa de Detectar y Generar, equivale a las primeras fases del diseño conceptual que ya se ha mencionada y que se explicará a detalle en el siguiente capítulo.
- De la etapa de *Prototipar* se retoma la mayor parte de las tareas propuestas (Diseñar, construir y probar), pues esto equivale a nuestras fases de diseño conceptual y de diseño de detalle que se desarrollaron en gran parte de manera conjunta pero que se explican en dos apartados diferentes.
- De la última etapa, o etapa de aprendizaje fue de suma importancia realizar algunas de las tareas que se muestran, como el identificar los factores críticos, identificar las oportunidades y registrar los aprendizajes, ya que con ello podemos dar comienzo a nuestras siguientes iteraciones que vayan corrigiendo y mejorando el desempeño de ambos bancos de prueba.

## CAPÍTULO IV DISEÑO BANCOS DE PRUEBA.

### 4.1. BANCO DE SELLADO TÉRMICO.

#### 4.1.1. DISEÑO CONCEPTUAL.

En esta etapa es importante justificar en las siguientes líneas cuales han sido las especificaciones y por ende cuales fueron las necesidades que planteó el problema en un inicio, ya que para el desarrollo del banco de pruebas de sellado térmico las necesidades son atributos que se buscan satisfacer.

Una vez que se reúnen datos sin procesar emitidos del cliente, en este caso se extrapola a datos sin procesar emitidos del problema original, el cual es desarrollar un banco de pruebas de sellado térmico para generar probetas estandarizadas acuerdo con la norma (ASTM F88, 2007). Para ello no es posible hacer encuestas o entrevistas directas con las personas que hacen uso del proceso de sellado térmico, ya que en la mayoría de las ocasiones dichos procesos forman parte de una línea de producción entre las cuales el proceso llevado a cabo en dichas líneas es resguardado por protocolos de confidencialidad y seguridad. Al ser imposible establecer una línea de comunicación directa con el usuario de las máquinas que realizan el proceso de sellado, no es posible establecer una importancia relativa de las necesidades de acuerdo a su criterio. Sin embargo, existen otras formas posibles para obtener la información, como es el observar el proceso de sellado térmico mediante videos en medios como el internet, en el cual se destaca lo siguiente (machinery, 2006):

- Uso de maquinaria compleja en el proceso de sellado térmico industrializado.
- Proceso de sellado térmico automatizado (prensado, sellado y corte).
- Presencia de calor, presión y tiempo como variables más importantes dentro del proceso de sellado térmico.
- Segmentación del proceso (sellado vertical y horizontal en distintas etapas).
- Pérdidas de calor por no ser un proceso adiabático.
- Disipación de calor dentro del proceso de sellado.



- Variantes geométricas en superficie de contacto para las mordazas de sellado térmico.

A partir de los puntos anteriores que describen información muy útil, se procede a interpretar dicha información en términos de necesidades del proceso mediante un análisis crítico de cada uno de los puntos, que se presentan en la Tabla 1:

	Información del proceso	Necesidad interpretada.
<b>Aspectos típicos en el proceso de sellado térmico industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de maquinaria compleja y robusta en el proceso de sellado térmico industrializado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario reproducir el proceso de sellado de manera sencilla pero conservando la robustez.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de sellado térmico automatizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesitan sistemas de monitoreo de variables y control de actuadores durante el proceso.</li> </ul>
<b>Aspectos a controlar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de calor, presión y tiempo como variables más importantes dentro del proceso de sellado térmico.</li> <li>• La línea de producción para el sellado térmico industrializado debe ser representada en el proceso de sellado térmico en el banco de pruebas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere controlar las variables físicas en el proceso de sellado térmico.</li> <li>• Es necesario contar con la capacidad de regular o ajustar la presión del sellado térmico con la que se efectuará la prueba.</li> <li>• La temperatura en la superficie de mordazas debe ser constante y uniforme, pero regulable antes el de iniciar el proceso de sellado.</li> <li>• Se busca que el tiempo de aplicación de presión se regulable y medible.</li> <li>• El banco de pruebas de sellado térmico debe ser capaz de representar el proceso de sellado térmico industrializado.</li> </ul>
<b>Mejoras en el proceso actual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segmentación del proceso (Sellado vertical y horizontal en distintas etapas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso de sellado térmico necesitaría adaptarse a las condiciones de la línea de producción.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disipación de calor dentro del proceso de sellado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario conseguir la disipación de calor, en los componentes que se desea que no sean afectados por éste.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variantes geométricas en superficie de contacto para las mordazas de sellado térmico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario tener mordazas capaces de generar distintos sellos en un mismo banco.</li> </ul>
--	---	--

*Tabla 1. Necesidades extraídas de la observación y análisis del proceso de sellado térmico a nivel industrial.*

A continuación, se muestra la jerarquización de necesidades a través de las cuales se identifican cuáles están más ligadas con el diseño de un banco de pruebas para sellado térmico y cuáles divergen hacia el proceso de sellado térmico industrial. Esto se justifica debido a que el banco de pruebas lo que busca es recrear una sola etapa del proceso industrial mas no el proceso en todas sus etapas.

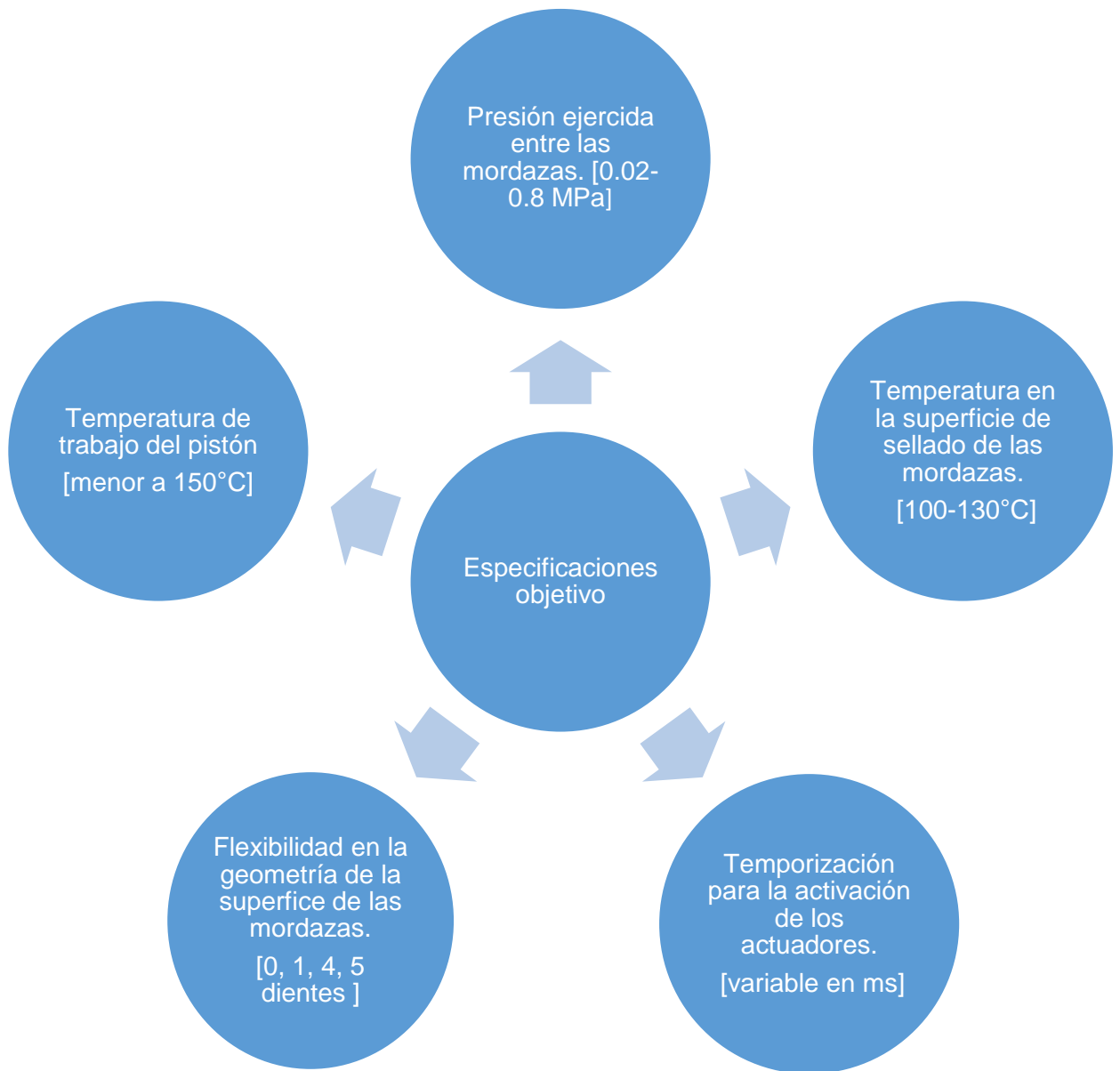
De manera jerárquica, las necesidades encontradas para el banco de sellado térmico son las siguientes.

1. Uso de sistemas para ejercer presión en mordazas.
2. Control de temperatura.
3. Control de tiempo en la aplicación de calor.
4. Estructura resistente, pero con dimensiones mucho menores a las de la industria.
5. Flexibilidad del banco para poder hacer uso de distintas mordazas de sellado.
6. Disipación de energía en el banco de sellado térmico.
7. Control y adquisición de datos.

Los resultados obtenidos de esta búsqueda de necesidades, reflejan cualidades que deben ser cubiertas por el banco de pruebas a diseñar. Además de ello, es importante recalcar que la prioridad es la presencia de variables físicas a controlar, con lo cual es posible tener un ambiente del industrial controlado para así generar probetas fiables apegadas a la norma antes mencionada. Sin embargo, el tener las necesidades del banco de sellado térmico "a flor de piel" no genera las herramientas suficientes para poder dar paso al diseño a detalle, pues existen pasos intermedios para concluir el proceso de diseño de concepto. El establecer cuáles son las

especificaciones que generan las necesidades encontradas, es uno de los pasos intermedios para que con ello evocar a cantidades para así finalizar la etapa de diseño conceptual y proponer un diagrama solido de diseño basado en un todo un trabajo detallado.

Para traducir aquellas necesidades obtenidas para el diseño del banco de pruebas de sellado térmico al lenguaje de las especificaciones técnicas o ingenieriles serán “*especificaciones objetivo*” (ver Diagrama 6). Se enlistan estas especificaciones de manera que sea claro que tipo de necesidades se cubren y a partir de ello continuar con la selección de componentes comerciales que se adecuen en un rango acorde a las especificaciones objetivo.



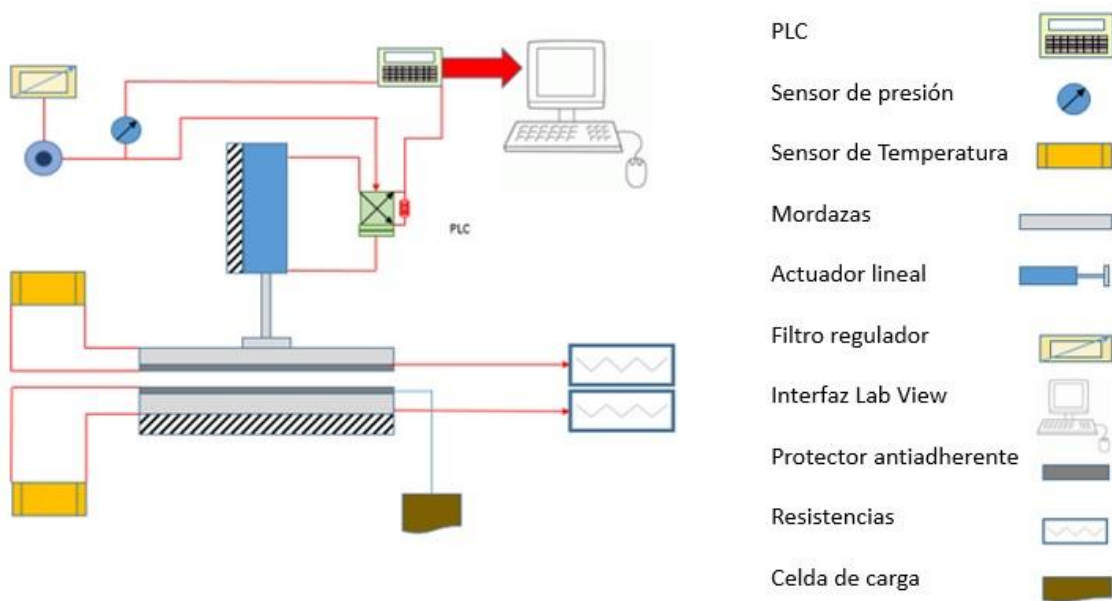
*Diagrama 6. Especificaciones objetivo del banco de pruebas de sellado térmico provenientes de las necesidades de la tabla 1*

A partir de lo descrito a lo largo de este capítulo, se tienen las características necesarias para poder generar probetas, así como su respectiva prueba de tensión. A continuación, se define una lista de funcionamiento del banco de sellado térmico, con la finalidad de seleccionar los componentes correctos para que trabaje de manera adecuada.

El funcionamiento que llevará a cabo el banco de sellado térmico será el siguiente:

1. Definir una temperatura para las superficies de sellado.
2. Colocar una pieza de material, con las dimensiones recomendadas por la norma (Imagen 6), en la superficie de sellado.
3. Accionar la superficie de sellado opuesta.
4. Considerar un tiempo de contacto, con la finalidad de realizar un sello.
5. Liberar la presión ejercida sobre el material sellado.
6. Retirar la probeta sellada.

De esta manera se concluye la etapa de diseño conceptual para dar paso a la selección de componentes comerciales que cubran las especificaciones y se adecuen al diagrama propuesto.



*Diagrama 7. Diseño conceptual del banco de pruebas de sellado térmico,*

#### 4.1.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES.

Para seleccionar los componentes comerciales, acorde con lo presentado en el diseño conceptual se enlistan los subsistemas principales que formaran parte del banco de pruebas para sellado de probetas. El trabajo de cotización referente a todos los elementos comerciales conllevó a el uso del criterio ingenieril basado en la optimización de los recursos económicos, tiempos de entrega y facilidad de implementación de dispositivos, para entablar líneas de comunicación entre posibles proveedores y la gestión administrativa del proyecto, así que la división de subsistemas que conforman el banco son los siguientes:

- Estructura.
- Dispositivo de actuación lineal.
- Dispositivo para generar calor.
- Base para colocar el dispositivo generador de calor.
- Mordazas de distintas geometrías para generar distintos sellos.
- Dispositivo para control de temperatura.

En la tabla 2 muestra las especificaciones, tanto de diseño como de compra, que se tomaron en cuenta para la selección de los componentes.

Componentes del banco de sellado térmico		
Piezas seleccionadas por catálogo	Especificaciones	Dimensiones y números de serie
<b>Soportes de estructura</b>	Adaptables a perfil de aluminio 40mm x 80mm	50 mm x 50 mm x 50 mm
<b>Perfil de aluminio</b>	Rigidez del marco de cada banco de pruebas	40 mm x 80 mm x L
<b>Resistencia tipo cartucho</b>	Rango de temperatura de operación: 100 °C a 350 °C	10 mm x 160 mm, 120V 400W con protección de 10 “
<b>Termopar tipo J</b>	Velocidad de detección del sensor: 0.005 -0.01 seg/°C, Sensibilidad: 0.04 mV/°C	N# serie: 20CJSUA012A
<b>Cilindro pistón</b>	Diámetro del émbolo: 32 mm, Carrera: 150 mm	DSBC - 32 -150 - PPVA - N3
Piezas a manufacturar	Especificaciones de Diseño	Especificaciones de compra
<b>Conector mordaza</b>	Adaptables a los perfiles de mordaza para el sellado y con capacidad de disipación de temperatura	Aluminio: 1020 150 mm x 15 mm
<b>Mordazas</b>	Distintas geometrías para superficies de sellado	Aluminio: 410 150 mm x 15 mm
<b>Bases</b>	No deben sobrepasar el área de 600 mm x 300 mm	Placas de aluminio 10 mm
<b>Alineador de probetas</b>	Capacidad de alinear las probetas a sellar	Maquinabilidad en aluminio
Componentes de control	Especificaciones de Diseño	Especificaciones de compra
<b>PLC</b>	Control de posición y de la presión del cilindro	20 salidas 20 entradas
<b>Controlador de temperatura</b>	Control PID para mantener una temperatura constante de trabajo	Número de serie: PM3R2EJAAAAAAA
<b>Válvula Proporcional</b>	Variación de la presión al cilindro	MPYE - 5 - 1/8 HF - 010B
Software	Especificaciones de Diseño	Especificaciones de compra
<b>LabView</b>	Interfaz de bancos de prueba	Compatibilidad con PLC

Tabla 2. Tabla de componentes seleccionados para el banco de sellado térmico.

Para comenzar, se detallarán las primeras columnas referentes a piezas por catálogo, las cuales son perfiles extruidos, soportes de los mismos, resistencias, termopares y el cilindro pneumático que hará la función principal del sellado térmico. Los catálogos ofrecen una gran fiabilidad, no obstante, ante ello fue necesario hacer pruebas de cada elemento por separado al momento de contar con cada uno de estos elementos, comprobando lo estipulado por el catálogo además de realizar una auto capacitación en el uso de los distintos dispositivos debido a que no se impartió una capacitación previa para el correcto uso de dichos dispositivos.

En el caso de los perfiles extruidos y soportes, tienen como finalidad sujetar a todos los componentes del banco de pruebas con la rigidez adecuada. En el caso de los perfiles de aluminio 40mmx80mm la resistencia a la tensión y la rigidez que ofrecen son superiores al flujo de fuerzas con las cuales el pistón realiza el sellado térmico.

En cuanto a la resistencia eléctrica y el termopar, se tomó en cuenta que el calor a lo largo de la superficie de contacto debe ser lo más uniforme posible además de que se debe de calentar en un periodo muy corto de modo que una de las características ofrecidas por el proveedor fue *“los cartuchos con compactado de Oxido de Magnesio. Maximiza el aislamiento y la conductividad térmica. Cuando el aislamiento es altamente compactado se maximiza la transferencia de energía”* además que la potencia de disipación es de 400 Watts, generando con ello temperaturas de alcanzan hasta 700°C, cubriendo con ello la temperatura de sellado tipo “Peel Seal” que se mantiene en un rango de 120°C a 140°C.

Por otro lado, el proveedor de las resistencias ofrece información en relación al ajuste mecánico referente a las dimensiones geométricas que alojara el cartucho. “Las resistencias de cartucho, en especial las de alta densidad (alta concentración), requieren un cuidadoso ajuste para asegurar el desempeño óptimo y prolongar su vida útil. Las perforaciones o barrenos, no son mayores a 0.002 mm del diámetro nominal requerido. Las resistencias están diseñadas a diámetros e inmersiones específicas, éstas no deben exceder 0.005mm menos que el diámetro nominal y siempre al menos 0.001 mm bajo el diámetro nominal para un ajuste deslizante. Los



ajustes apropiados aseguran una rápida transferencia de calor desde la resistencia y ayudan a mantener las unidades tan frías como sea posible, lo que contribuye prolongar la vida útil de la resistencia”.

## Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552

FESTO

Características








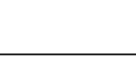


Variantes incluidas en los conjuntos modulares		
Símbolo	Características	Descripción
	R3 Alto nivel de protección contra la corrosión	Todas las superficies exteriores de los cilindros corresponden a la clase de resistencia a la corrosión 3 según norma de Festo 940 070. El vástago es de acero inoxidable resistente a los ácidos
	T1 Juntas termostables	Margen de temperatura 0 ... +120 °C
	T3 Baja temperatura	Margen de temperatura -40 ... +80 °C
	T4 Juntas termostables	Margen de temperatura 0 ... +150 °C
	A1 Variante con rascador	Resistencia elevada a las agresiones químicas: Para una vida útil más larga, p. ej. al utilizar refrigerantes
	A2 Variante con rascador	Rascador rígido: El cilindro cuenta con un vástago cromado duro y con un rascador rígido como protección contra medios secos, polvorientos y viscosos
	A3 Variante con rascador	Funcionamiento sin engrase: Los procesos de limpieza eliminan la grasa del vástago. Una junta especial del vástago permite, al funcionar sin lubricación, una vida útil superior que con las juntas estándar
	A6 Variante con rascador	Rascador metálico: El cilindro está dotado de un vástago cromado duro y un rascador metálico que elimina las partículas duras adheridas al vástago (p.ej. salpicaduras de soldadura). Por ejemplo, en equipos de soldadura
	...E Prolongación de vástago	-
	...L Prolongación de la rosca del vástago	-

Tabla 3. Características para cilindros normalizados según el catálogo FESTO® Pneumatics para cilindros normalizados DSBC, ISO 15552 DSBC, ISO 15552

Las características, tomadas en cuenta para la selección de un cilindro neumático tipo normalizado (Ver Tabla 3), es la resistencia térmica que ofrecen las juntas de sellado de los cilindros, los cuales puede soportar un rango de temperaturas como el expuesto en la tabla anterior en la característica T4 que va desde los 0 ° C hasta los 150 °C, lo cual desde nuestro punto de vista es válido, ya que la temperatura de sellado mencionado con anterioridad va desde los 120 °C hasta los 140 °C para conseguir con ello sellados de tipo “Peel Seal”. Además de ello entre superficie de contacto de las mordazas y el vástago del cilindro está previsto un circuito de refrigeración / circuito de disipación de energía, por lo cual se pretende diseñar que

las temperaturas a las cuales estará sometido el cilindro serán las óptimas o las descritas por el fabricante, además, en el caso crítico el controlador de temperatura estará en un máximo de 140 °C, lo cual aún es permisible para este tipo de cilindros.

En el caso de la presión se escoge la fuerza, que el pistón genera durante su carrera y cuál será el área efectiva de contacto que en el caso del proyecto presente es el área de la superficie de sellado en las mordazas. Para asegurar que esta cumpla con la presión de diseño requerida para el proceso de sellado térmico tipo “Peel Seal” la cual varía en un rango ya antes mencionado, por lo cual dentro de las diversas gamas de cilindros normalizados se definió un criterio de selección. Con los datos de la Tabla 4 de Fuerza y energía de impacto especificados por la empresa FESTO®, proponiendo como diseño una mordaza rectangular de 15mm x 160mm.

Fuerzas [N] y energía del impacto [J]							
Diámetro del émbolo	32	40	50	63	80	100	125
Fuerza teórica con 6 bar, avance	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Energía máx. de impacto en las posiciones finales							
DSBC...	0,4 <sup>1)</sup>	0,7	1,0	1,3	1,8	2,5	3,3
DSBC...-L/-U/-T1/-T3/-T4	0,2 <sup>1)</sup>	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,65
DSBC...-L1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	1,25	1,65

*Tabla 4. Fuerza nominal de avance de los distintos cilindros neumáticos existentes en el catálogo FESTO® Pneumatics para cilindros normalizados DSBC, ISO 15552.*

Como concepto final de selección de cilindro, se expone información en la Tabla 5 en la cual se realiza la evaluación de la presión en la superficie de las mordazas, dentro de la cual es posible observar que un cilindro de 32mm de diámetro cumple con el rango de presión de sellado especificado con anterioridad, por consiguiente, dicho cilindro es seleccionado para el banco de pruebas de sellado térmico.

Tipo de cilindro neumático de catálogo. $\Phi$ mm	Área propuesta para mordazas constante $.015m \cdot .160m = .0024 m^2$	Fuerza N por cilindro en avance a 6 Bar Nominal	Presión en mordaza MPa
32	Constante	483	0.20
40	Constante	754	0.32
50	Constante	1178	0.50
63	Constante	1870	0.78
80	Constante	3016	1.26
100	Constante	4712	1.96
125	Constante	7363	3.07

*Tabla 5. Selección de cilindros neumáticos, en función de la fuerza nominal de avance y el área de mordazas propuesta.*

Para continuar con la justificación detallada de cada una de las piezas seleccionadas se, abordará el bloque de la tabla componentes banco de sellado térmico llamado “Piezas a manufacturar”, el cual contempla: conectores de mordaza, mordazas, bases y alineador de mordazas, los cuales son piezas maquinables a diseñar pasando por un proceso de CAD, tomando en cuenta cuales son las tolerancias geométricas y propiedades de material.

El aluminio 50-86 fue el material seleccionado debido al bajo costo que este presenta, la resistencia a la corrosión en un ambiente sometido a cambios de temperatura, además de la facilidad de maquinado, lo cual representa un factor crítico debido a los tiempos previstos por el proyecto, frente a alguna aleación de acero, en el caso de las mordazas se podría haber seleccionado alguna otra aleación de aluminio o acero inoxidable, como los usados en sistemas industriales observadas en los videos de líneas de sellado térmico a gran escala, debido a la aplicación de sellado de empaques.

El banco de pruebas se pretende que tenga una etapa transitoria de precalentado mínima para lograr una temperatura de sellado en las mordazas por medio de una buena conductividad térmica, el comparar los coeficientes del acero y del aluminio ayuda de forma general para de poder establecer un punto de partida en la selección del material.

**Conductividad térmica y valores R**

\* = por

Sustancia	Conductividades térmicas, k			Valores R
	W/m * K	kcal/m*s * C°	Btu * in/ft <sup>2</sup> * h * F°	
Aluminio	205	5.0 x 10 <sup>-2</sup>	1745	0.00069
Latón	109	2.6 x 10 <sup>-2</sup>	750	0.0013
Cobre	385	9.2 x 10 <sup>-2</sup>	2660	0.0038
Plata	406	9.7 x 10 <sup>-2</sup>	12	0.00035
Acero	50.2	1.2 x 1 <sup>-2</sup>	320	0.0031
Ladrillo	0.7	1.7 x 10 <sup>-4</sup>	5.0	0.20
Concreto	0.8	1.9 x 10 <sup>-4</sup>	5.6	0.18
Corcho	0.04	1.0 x 10 <sup>-5</sup>	0.3	3.3
Cartón de yeso	0.16	3.8 x 10 <sup>-5</sup>	1.1	0.9
Fibra de vidrio	0.04	1.0 x 10 <sup>-5</sup>	0.3	3.3
Vidrio	0.8	1.9 x 10 <sup>-4</sup>	5.6	0.18
Poliuretano	0.024	5.7 x 10 <sup>-6</sup>	0.17	5.9
Forno de madera	0.55	1.3 x 10 <sup>-5</sup>	0.38	2.64
Aire	0.024	5.7 x 10 <sup>-6</sup>	0.17	5.9
Agua	0.6	1.4 x 10 <sup>-4</sup>	4.2	0.24

*Tabla 6. Conductividad térmica de algunos materiales (BUDYNAS & NISBETT, 2008)*

En la Tabla 6 se aprecia que la conductividad térmica de un aluminio es mucho mayor que la de un acero, lo que genera dos ventajas de diseño. La primera es el material de las mordazas y coples de las mismas, la segunda es la necesidad de un material aislante que evite el flujo de energía en diversas direcciones creando con ello una pérdida de tiempo durante el lapso transitorio de calentamiento del banco de pruebas. La selección de aluminio con la aleación 50-86 y sus propiedades físicas comparada con los valores expuestos por la empresa BRONCES VAL SL. En la tabla 7, en la cual podemos destacar que el valor de la conductividad térmica de dicha aleación es de  $126 \frac{W}{m^{\circ}C}$ , la cual sigue siendo mucho mayor a 50.2 de un acero convencional.

<b>Propiedades Mecánicas</b>						
ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm <sup>2</sup>	Dureza	
					Bnnell(HB)	Vickers
H-III	270	120	22	160	63	-
H-34	330	250	8	190	86	-

<b>Propiedades Físicas</b>							
Módulo elástico N/mm <sup>2</sup>	Peso específico gms/cm <sup>3</sup>	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10 <sup>-6</sup> /°C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS	Potencial de disolución V.
71.000	2,70	585-642	23'9	126	5'6	-	0'86

<b>Radios de Plegado</b>								
Estado	Coef	0'4-0'8 m/m	0'8-1'6 m/m	1'6-3'2 m/m	3'2-4'8 m/m	4'8-6 m/m	6-10 m/m	10-12 m/m
H-III	K	0'5	1	1'25	1'5	1'75	2	-
H-116	K	-	2	2'25	3	3	-	-
-	K	-	-	-	-	-	-	-

*Tabla 7. Propiedades Mecánicas físicas y radios de plegado de la aleación de aluminio 50-86 proporcionada por la empresa (BRONCES VAL SL, 2016).*

Para concluir la selección de componentes utilizados en el banco de pruebas de sellado térmico, se explicará el proceso para escoger de los elementos de control, y el software empleado.

Lab View® es el software utilizado para hacer la interfaz del control, pues como se puede ver en el diagrama de diseño seleccionado en la etapa de diseño conceptual, tenemos un elemento de control seleccionado que es un PLC. El PLC cumple en primera instancia con presentar el proyecto en un ambiente industrial, ya que desde un principio este trata de reflejar ciertas condiciones del entorno industrial para ser simulado dentro de un laboratorio.

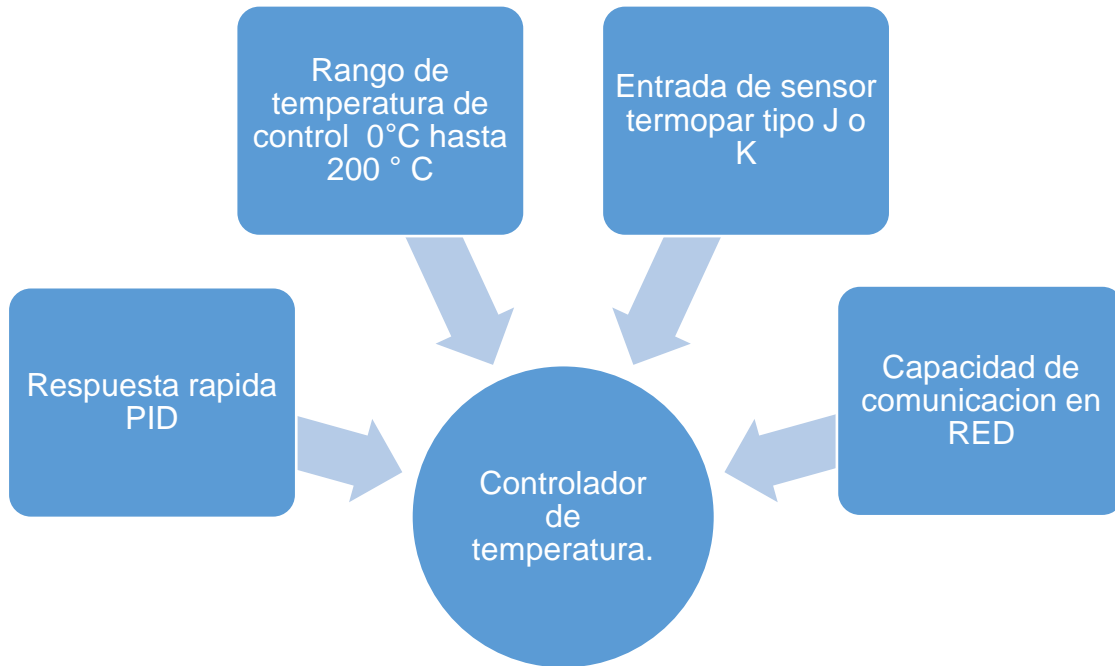
La selección de un PLC se hace por la robustez que presenta frente a algunos microprocesadores, que en cierta medida estos últimos representan una disminución en el costo total del proyecto, pero que implican una menor confiabilidad. Además de la elección por su robustez un requisito del cliente es que el banco de pruebas debe de contar con un PLC, debido a que se manejarán líneas neumáticas para los actuadores, y una de las herramientas que comparten el mismo

entorno es el PLC. Ante este requisito y el diagrama de diseño propuesto, se prevén un número de entradas y salidas acorde con el proyecto controladas por este procesador.

El proyecto presenta dificultades para una simple implementación de PLC, ya que, como tal, el proceso de sellado térmico representa el control de tres variables importantes, la presión en el área de sellado, la temperatura en la superficie de las mordazas y el tiempo de sellado. Debido a que estas variables representan entradas o salidas analógicas fue necesario optar por módulos de expansión, los cuales en sí mismo representan un reto en la implementación de los mismos en un tiempo corto.

Los elementos como el controlador de temperatura, válvula proporcionales y electroválvulas de impulso (como complemento para el caso del control del actuador), son necesarios debido a que el rango de presiones que se manejan en el proceso de sellado térmico puede variar. De modo que, para la obtención de distintos resultados, y distintos tipos de sellado, se debe ver cuál es el sellado óptimo dentro de toda la región de sellado "Peel Seal". En el caso de la válvula proporcional, ésta representa una forma de control manual, ya que es posible calibrar a una presión constante para mantener la misma fuerza en el proceso de sellado.

En el caso del controlador de temperatura, los requisitos de diseño son mantener la mínima variación de temperatura, además de realizar el proceso de precalentamiento de la superficie de las mordazas en el menor tiempo posible.



*Diagrama 8 Parámetros de elección para el controlador de temperatura.*

El diagrama de parámetros de elección del controlador de temperatura nos da un rango muy amplio para la selección de alguno tipo de controlador, ya que en su mayoría los existentes cumplen con una respuesta PID. La elección del Controlador de temperatura de la serie PM, en tipo 3 con número de serie PM3R2EJAAAAAA es porque es el controlador con las características mínimas citadas además de ser económicamente el de menor costo y con un tiempo de entrega conveniente (hacemos mención a esto porque éste factor del tiempo de entrega constituye un criterio de selección muy importante para respetar y cumplir con los tiempos establecidos para el proyecto).

La implementación de elementos como el PLC, LAB VIEW® y la válvula proporcional, son componentes que requieren una gran inversión de tiempo para poder entender su uso, mediante una capacitación en la implementación de dichos elementos. Por lo anterior, su implementación solo deja bosquejada en el banco de sellado térmico.

Por los demás componentes, cabe mencionar que la selección de los mismos cumple satisfactoriamente el proyecto.

#### 4.1.3. DISEÑO DE DETALLE.

En esta etapa de diseño de detalle se plasmaron en planos, los distintos componentes comerciales seleccionados, los de diseño propio, las dimensiones, y materiales. Los puntos que se consideraron en el diseño de detalle son los siguientes:

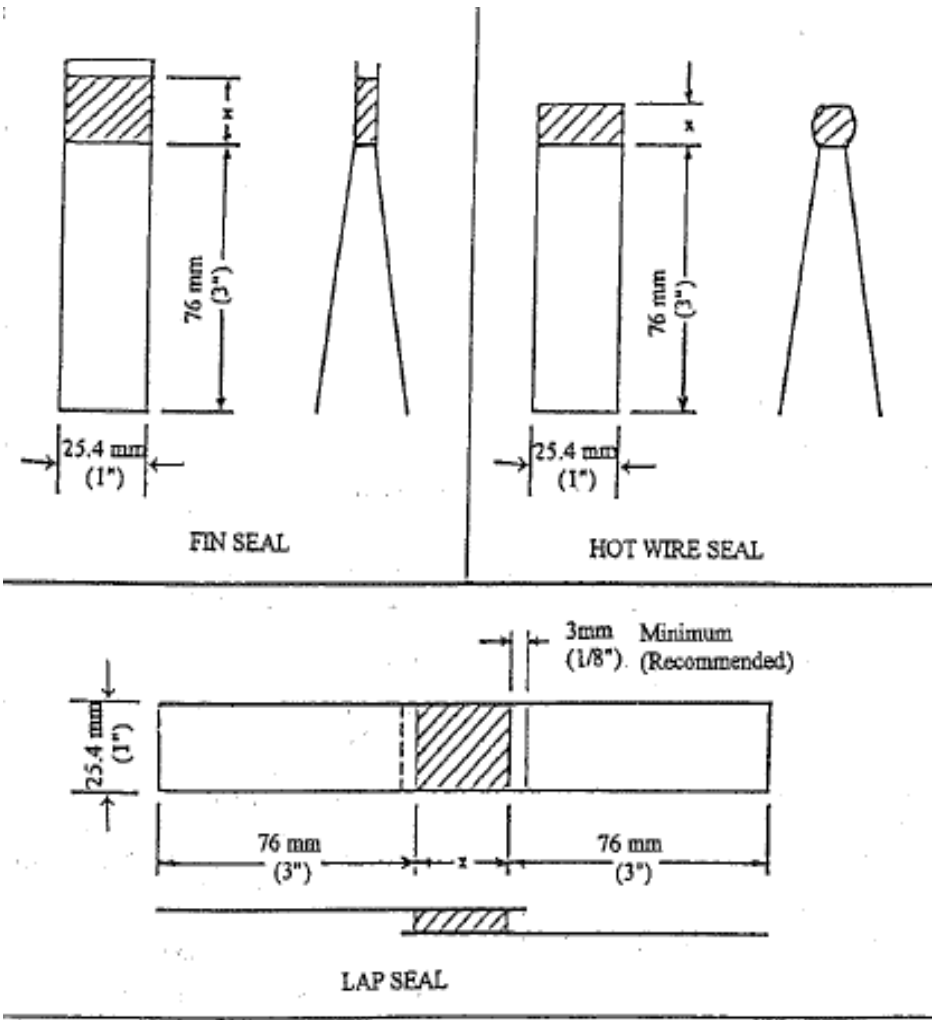
- Diseño en CAD y ensamble de los elementos mecánicos para banco de pruebas de sellado.
- Revisión de los elementos mecánicos de acuerdo a los planos.
- Revisión de los ajustes en el ensamble del banco para pruebas de tensión.
- Evaluación del circuito electrónico de control de temperatura.
- Evaluación del circuito neumático.
- Evaluación del funcionamiento

Para definir las variables más importantes en la mordaza se consideró la norma, (ASTM F88, 2007), que define las dimensiones nominales de probetas estandarizadas. Es a partir de las dimensiones de las probetas propuestas en la norma de donde surgen las dimensiones de las mordazas. En la Imagen 10 se observan las dimensiones, en el cual la distancia "x" depende completamente de la configuración del instrumento de sellado. La longitud del sello si está especificado a una medida establecida, la cual es de una pulgada.

Para realizar el detallado final de esta parte principal del banco de pruebas, se usó la Tabla 5 de selección de cilindro neumático, en la columna de área propuesta para las mordazas la cual es de  $.0024m^2$  respetando aquellos parámetros propuestos por la norma. Nuestra distancia "x" es el ancho de la mordaza el cual es de 15mm pues esta depende de cada máquina de sellado como antes ya se había abordado y en nuestro caso es una medida optima, ya que el perfil extruido cuadrado de 10mmX10mm de aluminio 5086 representa un menor costo de



inversión y cumple con las características de conductividad térmica además de cumplir con una medida acorde a los sellos generados por la empresa que gestionó el proyecto. En cuestión de la dimensión del largo de dicha mordaza se dibuja de 160 mm, lo cual cubriría el largo de las resistencias tipo cartucho seleccionadas previamente. Además se pensó en el aprovechar el área de la mordaza, la cual podría sellar hasta seis probetas simultáneamente (considerando los posibles errores geométricos al momento del corte de las probetas), como es posible verse en el *Plano PL-002 MORDAZA SUPERIOR* del apartado 6.4



NOTE 1—Seal dimension marked X varies with sealer configuration.

Imagen10. Dimensiones de probeta estandarizada por norma (ASTM F88, 2007)

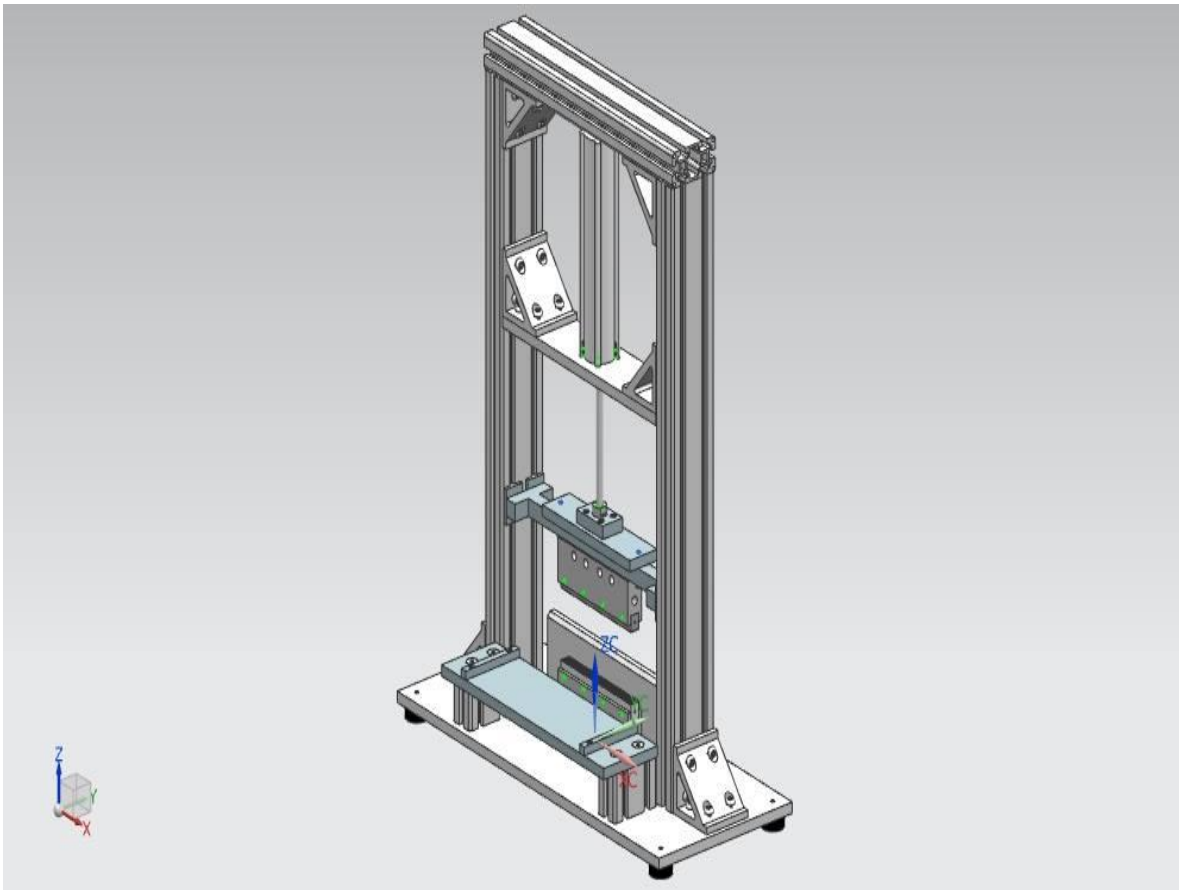
Para colocar los termopares en la mordaza *SECCION A-A* del plano, fue necesario realizar la ubicación los barrenos de 3.3 mm de diámetro con un ajuste de interferencia ligero K7/h7 para que al momento de ensamblar y durante el funcionamiento del banco de pruebas los sensores o termopares debido al movimiento no se desubiquen de su lugar y el ajuste de interferencia ligero elegido es para que no sea necesario el uso de prensa y dañar el sensor al momento del montaje.

Además esta ubicación de barrenos es lo más cercano posible a la superficie de contacto, sin deformar la mordaza utilizando una tolerancia de simetría de .012 por cada barreno (tolerancia aceptable para maquinaria de manufactura mecánica) y una profundidad de 7.5mm donde el eje se toma como base lo cual es una medida de la punta sensible del termopar para tener una lectura de temperatura lo más justa entre cada termopar así poder corroborar lo presentado por el fabricante de las resistencias tipo cartucho que es la homogeneidad de temperatura en el área de calentamiento.

Para concluir la etapa de diseño a detalle de la mordaza de sellado térmico los *DETALLES C y D* en los cuales es posible observar la geometría de los dientes de esta mordaza, se presenta una geometría dentada. En esa geometría existe un paso de 2 mm de diámetro entre diente y diente, como se puede ver en el *DETALLE C* además de una distancia de 1 mm en lo que se podría denominar el valle de cada diente, por lo cual es posible que las mordazas embonen una sobre otra para realizar el proceso de sellado obteniendo con ello un área de sellado total con un 40% de área mayor que si fuese solo una mordaza plana. Además, en cada cresta se espera que el calor pueda fluir de manera más fácil dando ventaja en el proceso de sellado térmico, puesto que, en este caso, los dientes o crestas adoptan la función de disipadores térmicos, su simulación ayudo a corroborar como es la distribución de energía térmica en dicha mordaza, además de ver si el diseño adoptado para el presente trabajo cumple con la generación de sellos tipo “Peel Seal”

. Esos detalles se presentan como un punto importante debido a que, como se tomó en un principio, durante el proceso de diseño conceptual, el sistema de mordazas para el banco de sellado térmico debe ser tal que permita un intercambio de geometrías de sellado con la finalidad de evaluar la diferencia entre la calidad del sellado entre cada una de las distintas geometrías propuestas.

El diseño del banco de pruebas de sellado térmico requiere de modularidad, con lo cual se genera la capacidad de intercambio de las piezas en caso de fallo de alguna de las mismas como se observa en Imagen 11. (Para más información ver en anexo 7.4 el plano ensamble 7.4)

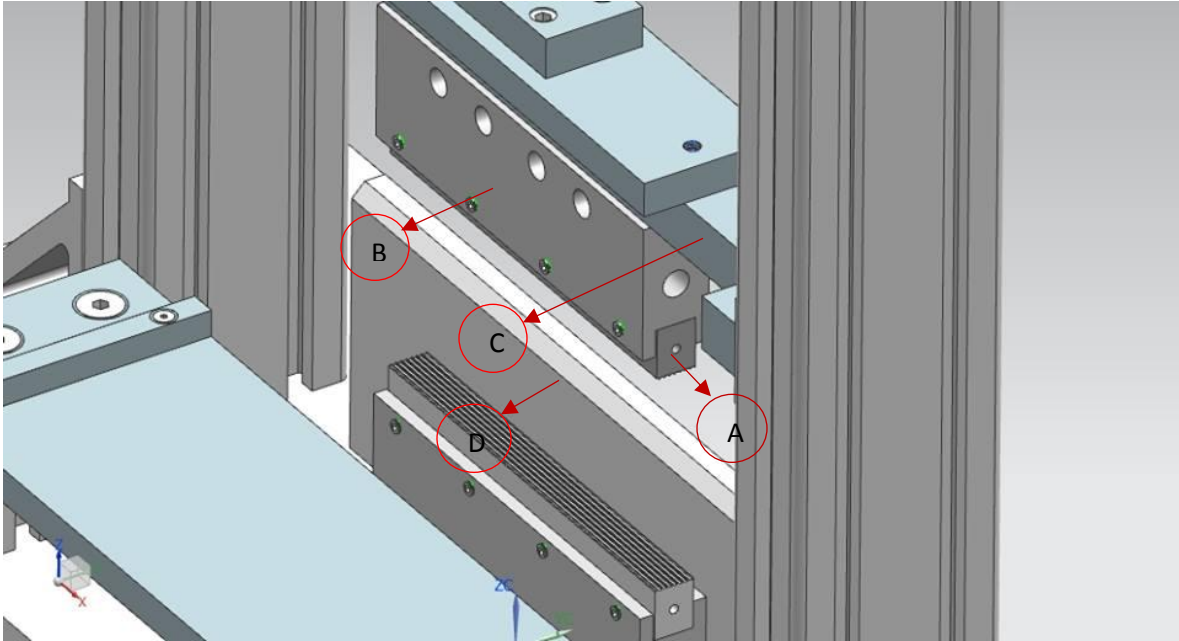


*Imagen 11. Banco de pruebas de sellado térmico, diseñado en el PLM software NX versión 10 con todas las restricciones y condiciones planteadas en el diseño de concepto y selección de componentes, Como se observa se cuenta con un arreglo de componentes más detallado*

En la Imagen 11 del banco de pruebas para el sellado térmico se muestran características que fueron resaltadas durante el proceso de diseño, al menos desde la perspectiva mecánica las cuales son las siguientes:

- a) Uso de sistemas neumáticos.
- b) Estructura resistente y modular.
- c) Sistema de sellado en mordazas modular.
- d) Sistema de disipación o disipadores de energía en el banco de sellado térmico.
- e) Disposición geométrica estratégica entre cartucho resistencia y sensor termopar.
- f) Capacidad de alineamiento para probetas selladas.
- g) Diseño de coples para interconexión de los elementos mecánicos del banco de pruebas.

Como se observa en el diseño en CAD de la Imagen 12, en el banco de pruebas se cuenta con un cilindro neumático, mordazas del sistema de sellado, coples que brindan el apoyo en el ensamblado de piezas, sistema de alineamiento de probetas, etc.



*Imagen 12. Ensamblaje del banco de sellado térmico, en el cual se ven los elementos como A) MORDAZA SUPERIOR, B) DISIPADOR\_PL, C) PIEZA\_H y D) ALINEADOR DE PROBETA.*

Para comenzar la revisión del diseño a detalle de la pieza *DISIPADOR\_PL*, que trabaja como coplee de mordaza de sellado, disipador de energía y porta cartucho, tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Geometría de la mordaza
- Disipación de energía térmica que fluye desde el la resistencia tipo cartucho hacia el cilindro neumático.
- Geometría de las resistencias tipo cartuchos y sus ajustes.
- Facilidad de ensamblaje en el banco de pruebas.
- Reducción de costos de manufactura: fresado convencional.

Todos los puntos anteriores se analizaron y detallaron en el proceso de diseño CAD, para generar una geometría que cumpliera con dichos requisitos.

El *DISIPADOR\_PL* cuenta con características como: el tipo de acabado de superficie (N7-N8 de  $1.6\mu m$  a  $3.2\mu m$ , que son tolerancias de maquinado capaces

de ser obtenidas con procesos de maquinado convencional) en el surco donde asentara la *MORDAZA SUPERIOR* para obtener una superficie de completamente plana (Para más detallas ver el plano *DISIPADOR\_PL* en el anexo 7.4).

Otro de los puntos a revisar del *DISIPADOR\_PL* son las tolerancias y ajustes pues de ello depende el acoplamiento con elementos como la mordaza de sellado y la resistencia tipo cartucho. Estas tolerancias y ajustes deben estar acorde las especificadas con el fabricante en el caso de la resistencia.

En lugar en donde embona la mordaza debe de existir una tolerancia de paralelismo entre las barreras del surco, y esta debe ser de .043 respecto a un plano de control, el cual es el material en bruto de la pieza, que al ser un extruido mantiene una planicidad en las caras acorde a lo necesitado dentro de los parámetros del ensamble.

Por otra parte el *DISIPADOR\_PL* cuenta con un sistema de sujeción de la mordaza en este caso lo más conveniente fue optar un sistema de tornillería (prisioneros) los cuales eliminan el juego existente de diseño de .03mm entre la mordaza de sellado el disipador manteniendo a la mordaza atrapada en el surco durante el proceso de sellado térmico, evitando que esta se salga de su lugar o pierda alineación lo cual generaría problemas en el sellado térmico de probetas y la calidad de las mismas, pues no se ejercería una presión uniforme en el área de sellado.

El ensamblado de las mordazas al *DISIPADOR\_PL*, contempla un momento de realizar el apriete en un rango de  $6 \frac{N}{m}$  a  $8 \frac{N}{m}$  de apriete por cada prisionero para evitar una deformación en cualquiera de las piezas.

Como punto final del diseño a detalle del *DISIPADOR\_PL* se abordará el sistema de disipación y la ubicación del barreno para la resistencia tipo cartucho, los cuales fueron un punto clave dentro del diseño de detalle al momento de realizar el CAD de la misma pieza, pues como se observa en el plano *PL-002* (Ver plano en anexo 7.4), en la *SECCION A-A*, esta pieza consta de varios barrenos debido a la tornillería de sujeción y al sistema de disipación de calor seleccionada para esta pieza.

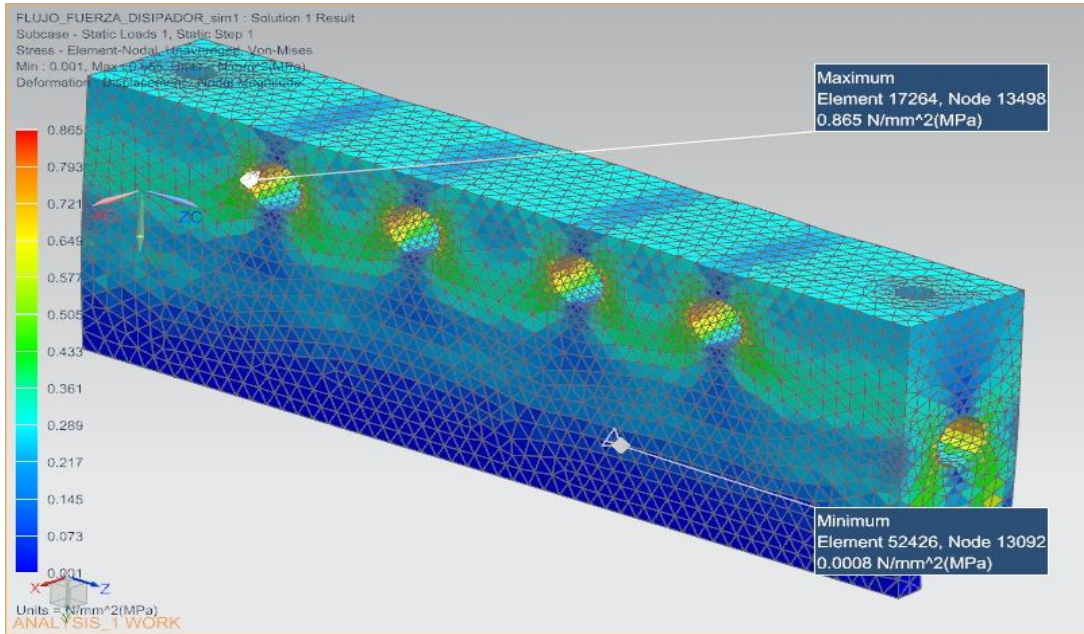
Para el sistema de disipación se optó por realizar cuatro barrenos de 10mm de diámetro por los cuales se pretende hacer circular aire (canales de disipación) para eliminar una parte del calor que afecta directamente al cilindro neumático, se opta por solo cuatro para evitar la pérdida de rigidez en la pieza debido a los concentradores de esfuerzos (barrenos) ya que la pieza estará sometida a una presión ejercida por el pistón. Los rangos de presión del propio proceso de sellado térmico son muy bajos, lo cual brindaba la posibilidad de barrenar los canales de disipación de mayor diámetro, pero se optó por un factor de seguridad muy grande debido a la prevención de algún accidente a futuro en el cual el sistema neumático trabajase al límite de su capacidad ejerciendo con ello una presión en esta pieza superior a la del rango de trabajo, llevando a una falla o deformación.

La ubicación del barreno para la resistencia tipo cartucho en el *DISIPADO\_PL*, fue uno de los detalles mayor cuidado y discusión al momento de diseñar el disipador, debido a la cantidad de barrenos que esta pieza contendrá, por esa razón y manera estratégica se planteó ubicar la resistencia tipo cartucho justo al centro de la pieza, en la imagen 12 además de contar con una tolerancia de simetría del barreno de .012mm respecto al un plano de referencia para lograr que el cartucho no sufra deformaciones en el momento de su ensamblaje así como la elección de un ajuste K7/h7 de transición lo cual exige una tolerancia de 18 micras, lo cual es .018mm que es congruente con lo aconsejado por el fabricante de cartuchos

Durante el proceso de diseño a detalle se plantearon distintas ubicaciones para el barreno de la resistencia, una de las ubicaciones era realizar el barreno lo más cercano posible a la ubicación del surco donde ensamblaría la mordaza de sellado, esto no fue posible debido al flujo de fuerzas, como es posible ver en los resultados de análisis por elementos finitos en la Imágenes 13 y 14 de la pieza.

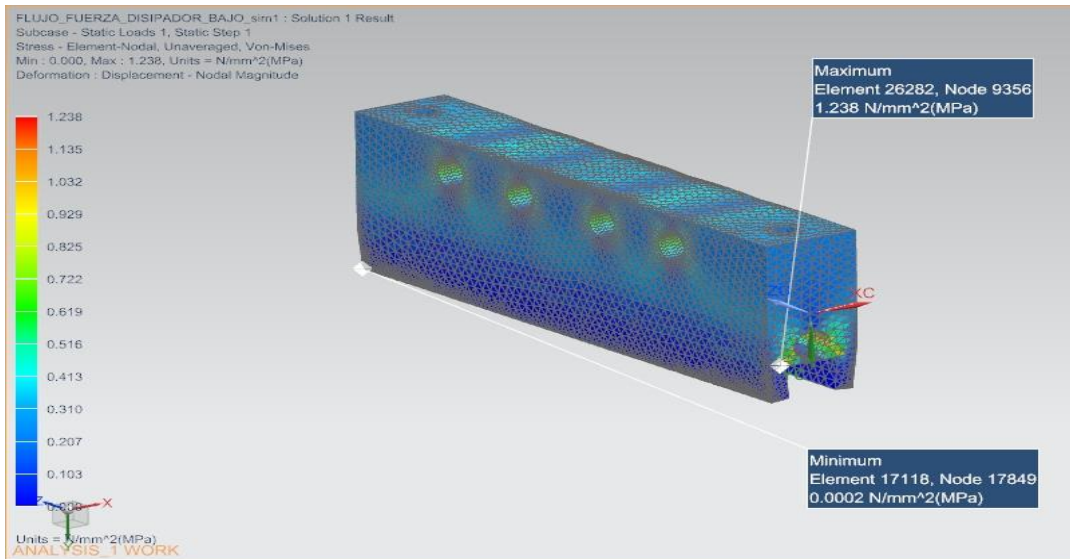
Se puede ver que existe una mayor probabilidad de falla en el caso de que el barreno se ubicara lo más próximo posible al surco de la mordaza de sellado térmico, la decisión de ubicar dicho barreno en el centro de la pieza genera una desventaja de muy poco peso y eso es el tiempo de precalentamiento del banco de pruebas, debido a que esta ubicación está muy próximo a los canales de disipación

de calor. En este caso el fenómeno de transferencia de calor dice que el flujo de calor tendera a fluir hacia la zona por la cual le cause menor resistencia, lo cual en este caso como se puede ver en la SEECCION A-A del plano existe menos oposición de flujo de calor por los canales de disipación que por el surco de la mordaza. Todo lo anterior afectara en tiempo de retraso para el calentamiento óptimo de las mordazas del banco de pruebas de sellado térmico.



*Imagen 13. Resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran, para la visualización de los esfuerzos a los cuales está sometida la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno de cartucho centrado). Debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa.*





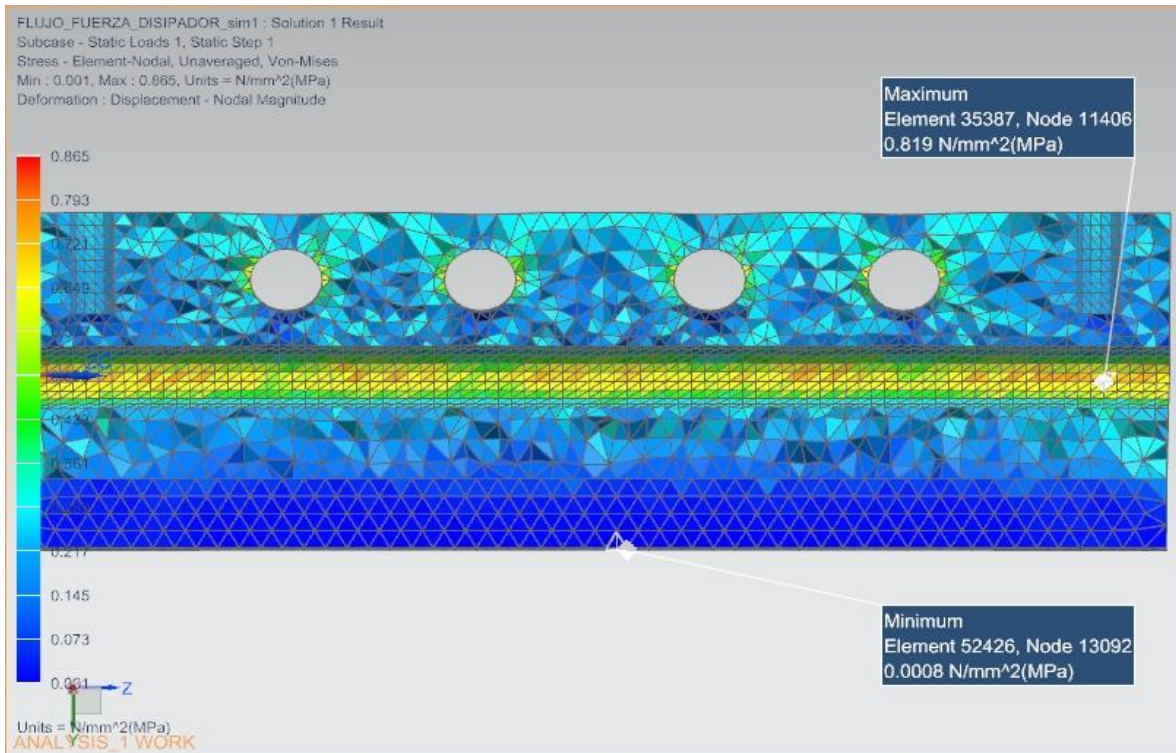
*Imagen 14 Resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran, para la visualización de los esfuerzos a los cuales está sometida la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno de cartucho cerca del surco de mordaza) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa*

En las Imágenes 13 y 14 es posible generar información con la cual se puede defender la elección de ubicación central del barreno para la resistencias tipo cartucho, debido a que en esta disposición de barrenos la distribución de esfuerzos es mejor que en el caso de ubicar el barreno en la superficie más próxima al surco al surco para la mordaza de sellado se observa en las imágenes anteriores la zona que sufre mayor esfuerzo debido a la fuerza máxima del cilindro neumático que sería de 964.8N (en el caso crítico que la presión del pistón se disparase a 1.2 MPa).

En el caso del barreno centrado como se observa en la Imagen 13 la distribución de esfuerzos contempla un máximo de .865 MPa existente en los barrenos de disipación de calor, lo cual responde a lo que se había mencionado y planteado que ocurriría, pues estos barrenos también funcionan como un concentradores de esfuerzos, al disminuir el material, permitiendo así que el flujo de esfuerzos en la circunferencia de dichos barrenos sea mayor que en alguna sección donde no existan barrenos, esta desventaja es mínima frente al beneficio que este ofrece pues como anteriormente se expuso en la Tabla 7, este cuenta con un límite elástico

de 120 MPa, el cual es mucho mayor al esfuerzo máximo de .865 MPa resultado de la simulación en el caso crítico en este caso.

Al existir un barreno transversal en toda la pieza en el cual se ubicara la resistencia tipo cartucho esta sección también está sometida a una concentración de esfuerzos, debido a que el flujo de esfuerzos se ve limitado por dicho barreno, como se muestra en un acercamiento a la simulación como el siguiente.



*Imagen 15. Corte transversal resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver MCS Nastran®, para la visualización de los esfuerzos a los cuales está sometida la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno d cartucho centrado) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa con esfuerzo un máximo de .819 MPa*

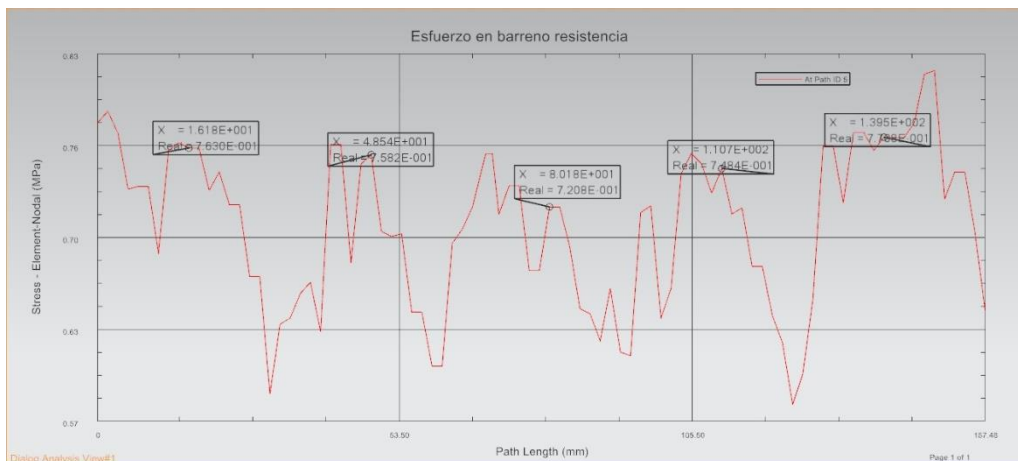
La vista de sección transversal de la Imagen 15 muestra un preámbulo más nítido de lo que posiblemente ocurra dentro de la pieza sometida al caso crítico planteado, en este caso como es la concentración de esfuerzos a lo largo de barreno para la resistencias tipo cartucho y en los barrenos de disipación.

En cuanto al esfuerzo máximo esté es localizado en uno de los barrenos de disipación, además de ello el barreno de la resistencia presenta un resultado de

esfuerzo menor que el de los barrenos de disipación, lo cual genera un argumento de diseño proveniente de dicha simulación.

Los argumentos son en esencia la clave y la base para defender una idea y en este caso el diseño del disipador, pues como se puede observar en los resultados de las imágenes 13, 14 ambas simulaciones cumplen con soportar la carga máxima del pistón sin que esta falle, y los resultados se presentan un esfuerzo máximo de no mayor a 2 MPa en cada simulación y aunque existiese un rango de error inherente a la de la simulación de un 30% desfavorable, con lo cual el esfuerzo máximo incrementaría 2.6 MPa, esta cantidad por mucho es menor al esfuerzo de cedencia del material, lo que generó dos puntos de vista. El primero es que ambas piezas están bajo el límite elástico de la curva esfuerzo deformación del material, lo cual nos dice lleva a pensar que la pieza no fallara frente a este caso crítico. Lo segundo es que tipo de argumentación de selección se tomó para la ubicación del barreno.

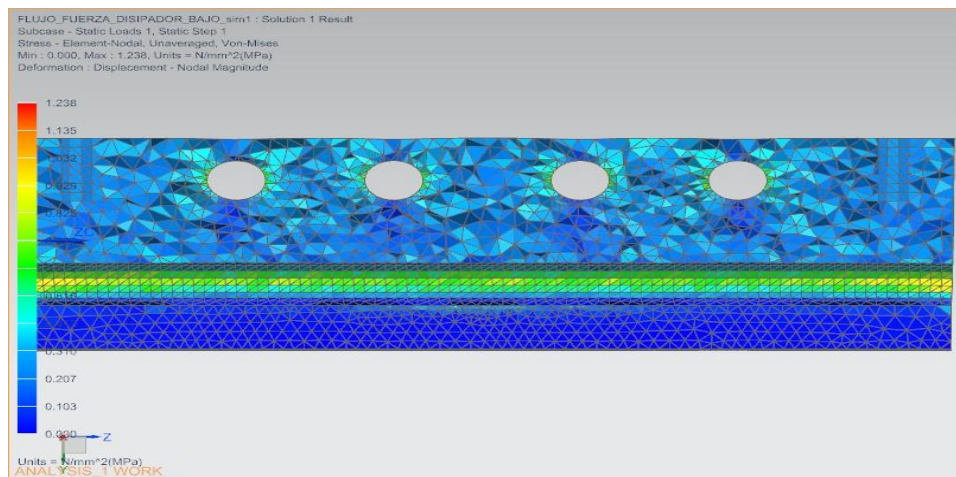
Para presentar los argumentos se harán usos de gráficas provenientes de la simulación e imágenes de simulación que se son fundamentales para la toma de una decisión.



**Gráfica 1. Simulación del esfuerzo a lo largo del barreno de la resistencia eléctrica obtenido de la simulación por elementos finitos por medio del solver MCS Nastran ®,**

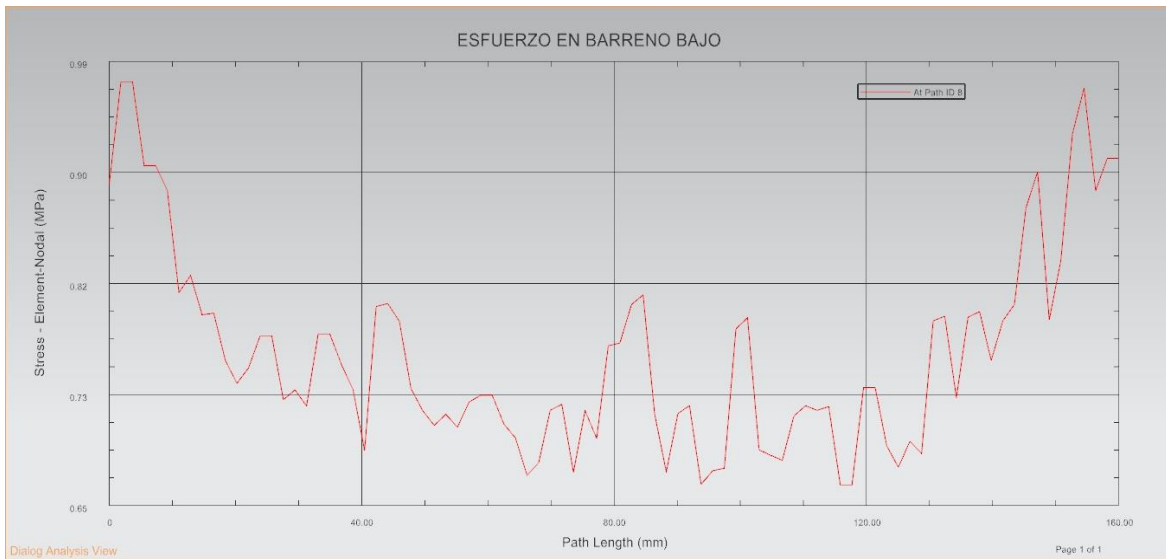
Las gráficas obtenidas de la simulación por elementos finitos muestran resultados y argumentos importantes de la ubicación del barreno de la resistencia, en Imagen 15 y Gráfica 1 en las cuales el barreno es ubicado al centro de la pieza, existen una concentración de esfuerzos en los cinco picos preponderantes de la gráfica, pero al analizar a detalle, cada uno de estos picos representan las transiciones de distribución de esfuerzo que se presenta la pieza debido a los barrenos de disipación.

En el corte de sección transversal de la Imagen 15 se aprecia un patrón distancia entre cada uno de los barrenos de disipación y el barreno de la resistencia de cartucho muy corta, lo cual hace que esta transición mantenga los altibajos vistos en a Gráfica 1, dichos altibajos no plantean un escenario en el cual exista un esfuerzo sea mayor a los ya antes anunciado, por lo cual mantiene como argumento que un barreno centrado en la pieza genera un menor nivel de esfuerzos sufridos por la pieza.



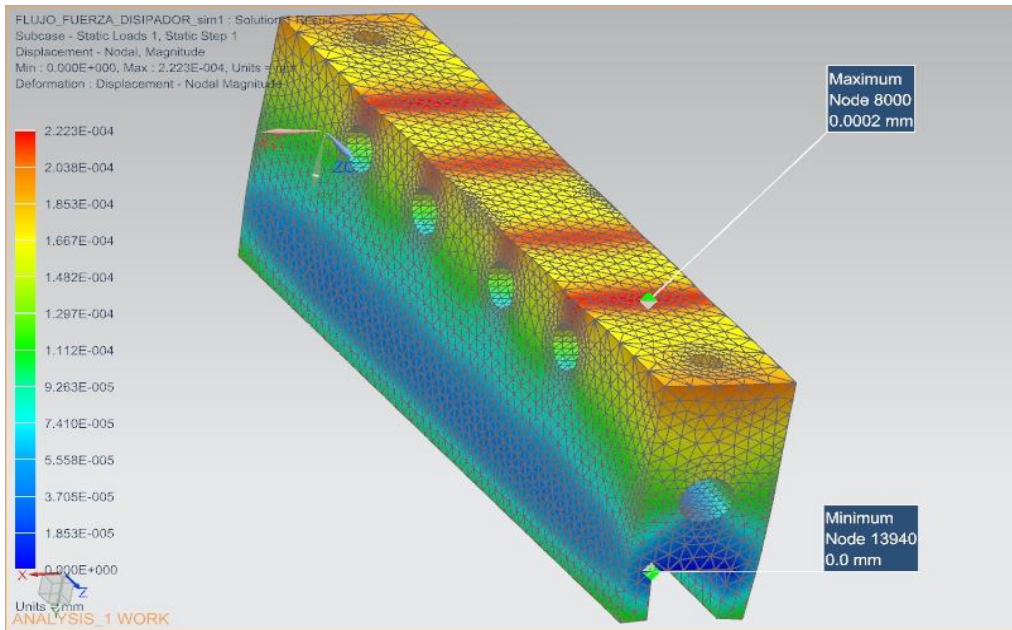
*Imagen 16. corte transversal resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran®, para la visualización de los esfuerzos a los cuales está sometida la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno para resistencia tipo cartucho cerca del surco del surco de mordaza) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa de .865 MPa.*

Al contraponer la Gráfica 1 y 2 podemos ver que los niveles de esfuerzo en el barreno del cartucho son mucho mayores en la Gráfica 2 que los presentados en la Gráfica 1 del mismo modo en los resultados de simulación de la Imagen 15 muestran resultados de esfuerzos mayores a los resultados de la Imagen 16, por ende la elección de ubicación de barreno fue centrado.

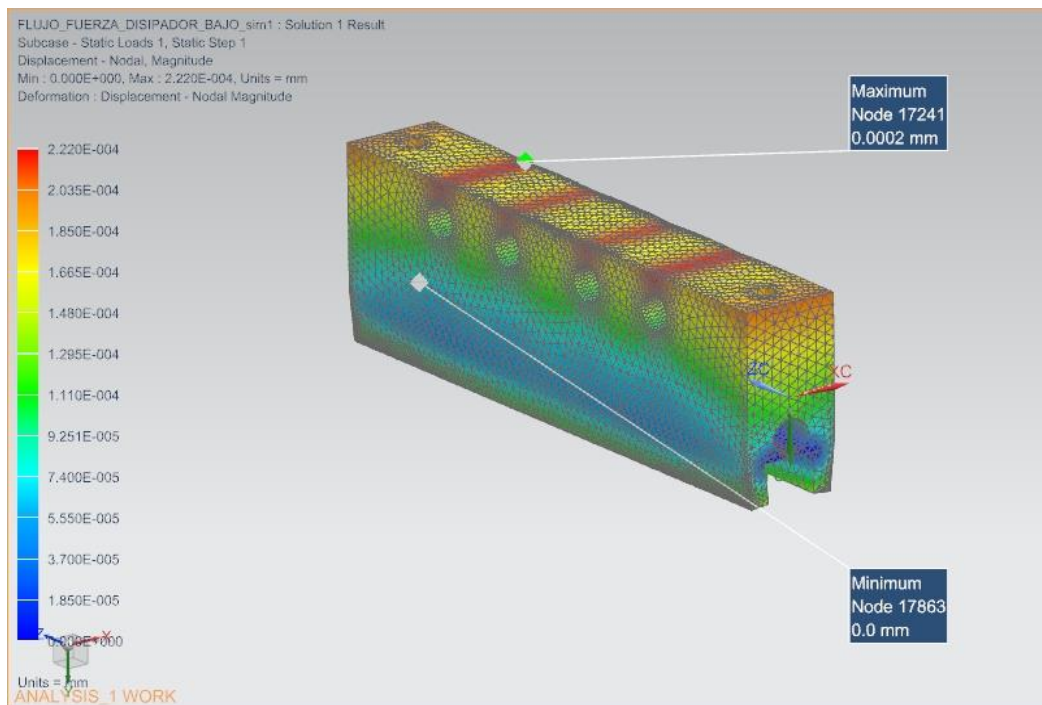


*Gráfica 2. Esfuerzo a lo largo del barreno de la resistencia con un barreno ubicado cerca de la superficie del surco de mordaza obtenido de la simulación por elementos finitos por medio del solver MCS Nastran ®.*

Otro argumento muy importante al momento de diseñar y realizar una simulación de CAE (Computer Aided Engineering por sus siglas en inglés) a cualquier pieza es el tema de las deformaciones. El caso crítico que se simulado es necesario cuales fueron las deformaciones provocados por el cilindro neumático y ver como estas afectan..

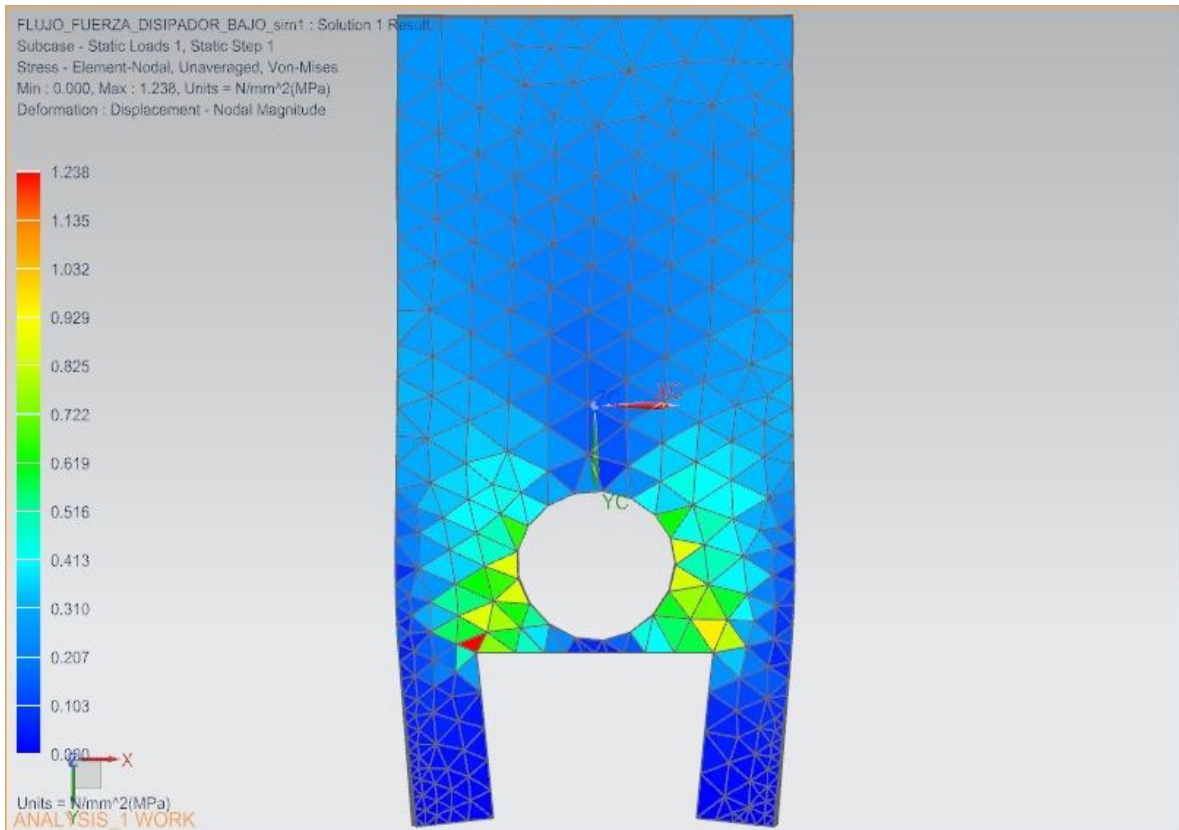


*Imagen 17. Resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran® para la visualización de desplazamientos de la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno para resistencia tipo cartucho centrado en la pieza) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa.*



*Imagen 18. Resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran®, para la visualización de desplazamientos de la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno para resistencia tipo cartucho cerca del surco del surco de mordaza) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa.*

El proceso de diseño tiene varios caminos que llevan a la misma solución, simplemente las trayectorias que se generan para la solución toman diversos caminos en el caso de los resultados de las imágenes 17 y 18, se aprecia que los resultados son similares teniendo un régimen de desplazamiento demasiado bajo o despreciable con lo cual se puede generar un criterio de rediseño más ligero o un cambio de material debido a que la pieza esta sobre estimada.

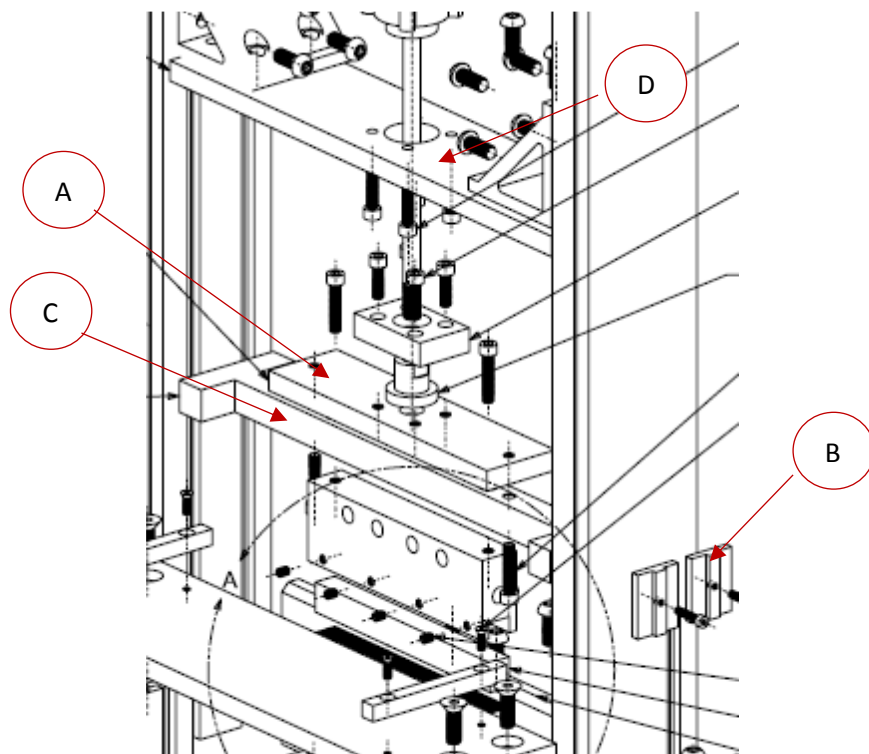


*Imagen 19. Resultado de simulación por elementos finitos por medio del solver Nastran® , para la visualización de esfuerzos en una vista frontal de la pieza DISIPADOR\_PL (con barreno para resistencia tipo cerca del surco del surco de mordaza) debido a la carga máxima ejercida por el cilindro neumático trabajando a 1.2 MPa.*

Para concluir la etapa de argumentación en el diseño del disipador, se presenta la vista Frontal de la pieza en la Imagen 19, para ver cómo afecta la disposición de un barreno cerca de la superficie del surco para la mordaza de sellado, puesto que al tener un ángulo recto en dicha pieza y al reducir el espacio del flujo de fuerzas se genera un concentrador de esfuerzo, el cual concuerda con lo presentado en la Imagen 18, en la cual se ve que el valor máximo de esfuerzo para este caso se

localiza justo en ese concentrador de esfuerzo, es posible observar que un disposición así genera una elevación del de esfuerzo en dicha zona, claro está que no fallara la pieza por dicho caso presentado, pero ante ello se pretende argumentar que en un caso similar con una mayor carga se selecciona un barreno centrado ya que no se presentan niveles de esfuerzo mayores a los esperados por los barrenos de disipación.

De esta manera se concluyó una de las piezas importantes dentro del diseño de detalle del banco de pruebas y se da paso a la continuación del diseño de detalle del banco de pruebas para sellado térmico y cómo es posible observar en la Imagen 20 existen como mínimo cuatro piezas de las cuales la manufactura, el diseño en CAD y las tolerancias exigen un riguroso diseño de detalle para obtener un funcionamiento correcto del banco de pruebas desde el punto del movimiento, dichos elementos son los siguientes (para más información plano ensamble en anexo 7.4 ).



*Imagen 2 Elementos de alineación en explosivo para el banco de pruebas de sellado térmico como lo son A) PLACA\_COPLER, B) CORREDERA, C)PIEZA\_H y D)PLACA\_PISTON*



Para que el banco de pruebas pueda ejercer el movimiento de las mordazas de sellado y a su vez generar las probetas respecto a la norma (ASTM F88, 2007) al revisar minuciosamente cada uno de los detalles, tolerancias y justificaciones del porque se optó realizar el diseño de dichas piezas, cabe señalar que estas piezas son de fácil manufactura (manufactura convencional) ya que el proyecto también buscaba una reducción de presupuesto y en este caso también se tomara en cuenta cual fue la reducción de presupuesto que implico cada pieza.

Para el caso de la pieza llamada *PLACA PISTON COPLE R* que es una pieza que requiere de tolerancias dimensionales y geométricas de posición, pues la alineación entre las mordaza, el coplee dissipador y el cilindro neumático dependen en gran porcentaje de la ubicación de los barrenos en esta pieza, ya que si no se realiza la manufactura de dichos barrenos con las tolerancias adecuadas se puede generar un movimiento con interferencias entre la *PIEZA\_H*, la *CORREDERA* y la estructura del mismo banco debido a los posibles errores de alineación, además que dicho movimiento con interferencias se traduce en pérdidas energéticas debido al rozamiento forzado de dichas piezas y por ende una medida errona en cuanto a la presión de sellado.

Otro de los aspectos importantes al momento de diseñar a detalle dicha pieza fue su compatibilidad con un coplee prefabricado por el fabricante del cilindro neumático el cual fue seleccionado por su facilidad de compatibilidad con alguna pieza maquinable del banco de pruebas pues como se puede observar en el plano *PL-004* en la *SECCION A-A* existe una barrenación de tipo graneteado para realizar el perfecto ensamblaje de dichas piezas.

Las tolerancias concentricidad, planicidad, y paralelismo para la pieza *PLACA PISTON COPLE R*, son muy cerradas pues se debe de evitar que al momento de ensamblar el coplee provisto por el fabricante del cilindro y la pieza no exista una desviación, En el caso de planicidad y paralelismo se mantienen tolerancias cerradas de .011mm para que al momento de que el banco de pruebas realice el trabajo de sellado térmico la superficie entre las mordazas (mordaza superior y

mordaza inferior) sea lo más paralela posible y embonen de acuerdo a la geometría expuesta en los dientes de la mordaza de sellado.

En el caso de la *CORREDERA* y la *PIEZA H* es necesario aclarar que el cilindro neumático cuenta con un punto de desventaja el cual es el vástago ya que al ser cilíndrico no cuenta con una restricción de movimiento lo cual permite un libre giro de la mordaza generando un problema de diseño aunque el proveedor del mismo cilindro neumático explico la posibilidad de uso de un cilindro con restricción de giro del vástago lo cual implicaba una inversión monetaria mayor al proyecto. Dicha restricción de movimiento fue sencilla de implementar debido a la geometría del perfil con el cual se forma la estructura del banco de pruebas de ahí nace el uso de una pieza (*PIEZA H*).

En cuanto al elemento *CORREDERA*, se toman en cuenta tolerancias de paralelismo y acabado superficial en las partes críticas. En el caso del paralelismo se opta por una tolerancia cerrada de .011 mm respecto al plano de control original de la pieza con lo cual se pretende la posibilidad de movimiento libre durante el recorrido del cilindro neumático, además de ello dicha tolerancia nos asegura que existirá un contacto perfecto entre las caras maquinables de la pieza y las caras del surco de los perfiles de la estructura debido al acabado superficial de fresado N7-N8 ( $1.6\mu m-3.2\mu m$ ), estas superficies son las que estarán en contacto directo cara a cara y el principal fin del acabado seleccionado es bajar la rugosidad que tiene el material en bruto ya que como consecuencia se obtiene un mejor deslizamiento entre las piezas.

Para el caso de la selección de material de la *CORREDERA*, se opta por el Nylamid M para dicha aplicación, debido a la facilidad de maquinado, bajo costo y además de ser un material usado en la industrial con propósitos especiales (como es la fabricación de bujes de baja carga) y en este caso también se pretende un uso de este tipo pues es un elemento que estará intermedio entre dos elementos (el perfil del marco bastidor o estructura y la *PIEZA H*) los cuales requieren un elemento menos rígido (el Nylamid M) para atenuar vibraciones y bajar el nivel de ruido debido al deslizamiento de los mismos.

Por ultimo cabe mencionar que esta pieza fue diseñada como parte de último proceso de detallado del banco de pruebas para sellado térmico, pues a pesar de ser un problema latente durante la selección del cilindro neumático este requería de saber cómo sería la geometría de las piezas de directamente ligadas al sellado térmico y de ahí partir para el acoplamiento y la restricción del giro del vástago del cilindro neumático, por ende el diseño a detalle de esta corredera va de la mano con el diseño de *PIEZA\_H*,

Para concluir el diseño a detalle en cuanto a revisión de ajustes, tolerancias y diseño en CAD/CAE del banco de pruebas de sellado térmico se realizara la revisión *PLACA\_PISTON*, el cual es el elemento que sirve para centrar el pistón con la mordaza inferior fija por lo cual a pesar de que existir una tolerancia de .9mm (lo cual es relativamente grande) para los barrenos que harán la sujeción con el pistón, se especifica en una tabla la ubicación exacta de cada barreno además de un barreno a la medida de vástago del cilindro neumático con un ajuste de deslizamiento libre, solo para corroborar la alineación entre cada elemento, por lo cual se requiere que dicha pieza cuente con tolerancias de paralelismo y planicidad muy cerradas, dichas tolerancias pueden ser obtenidas con el material en bruto desde placa sin maquinabilidad, solo es una referencia, para que al momento de barrenar la placa la empresa encargada de la manufactura tenga un especial cuidado para no deformar la placa y el rango de tolerancia se agrande y con ello se tengan problemas de alineación de elementos, como los ya antes mencionados.

Para la evaluación de los circuitos neumáticos como electrónicos que son parte del diseño de detalle del banco de pruebas de sellado térmico será necesario presentar diagramas mediante los cuales se podrá observar el proceso visto desde un punto de vista electrónico y neumático.

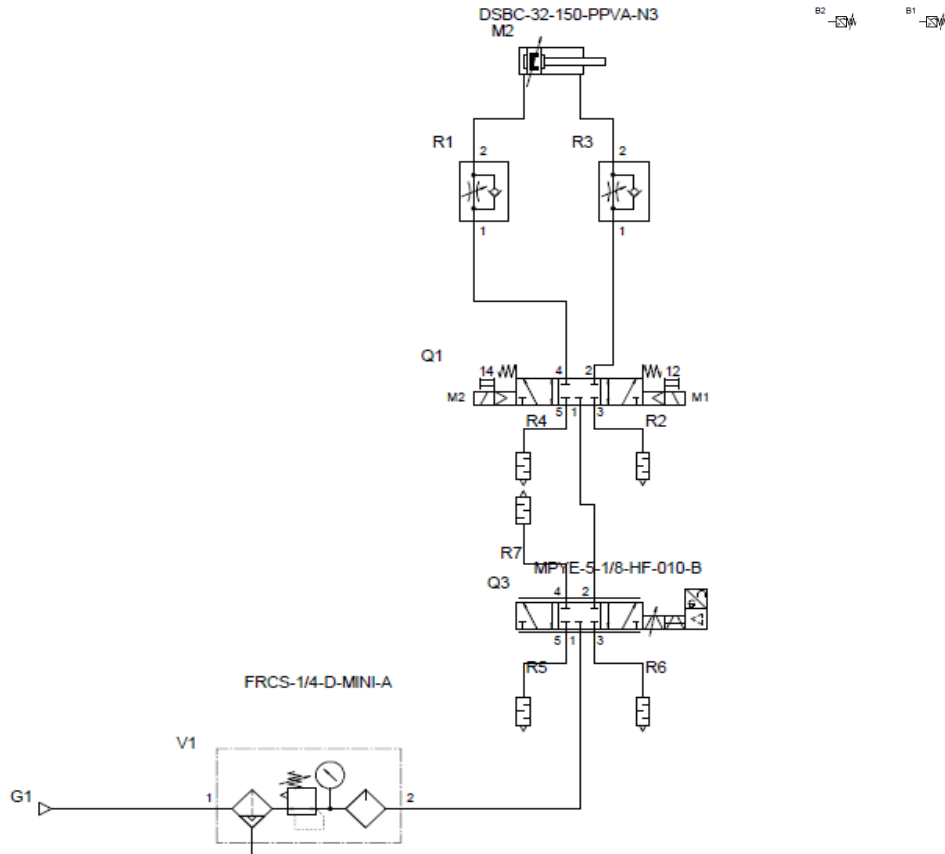


Diagrama 1. Circuito neumático del banco de pruebas para sellado térmico

Como se puede ver en el Diagrama 9, el circuito neumático es muy sencillo ya que durante el diseño conceptual se buscó que el banco fuese lo más cercano al proceso industrial incorporando para ello un PLC el cual controlaría todo el proceso del diagrama neumático expuesto, manteniendo la estructura del algoritmo siguiente.

- El proceso inicia al encender el banco de pruebas (switch o contacto).
- El usuario configura valores de; temperatura en el circuito de resistencias (El circuito tiene su controlador), y de presión del cilindro y tiempo de sellado en el PLC. Cabe mencionar que mientras el banco se encuentra en estado de configuración, por default el PLC y el circuito de resistencias tendrán asignados valores de sellado tipo PEEL (Temperatura=120°C, Tiempo=10ms, Presión de sellado=6 Bar). Una vez configurados los valores,

*el usuario da una señal (botón 1) de que los valores están configurados al PLC.*

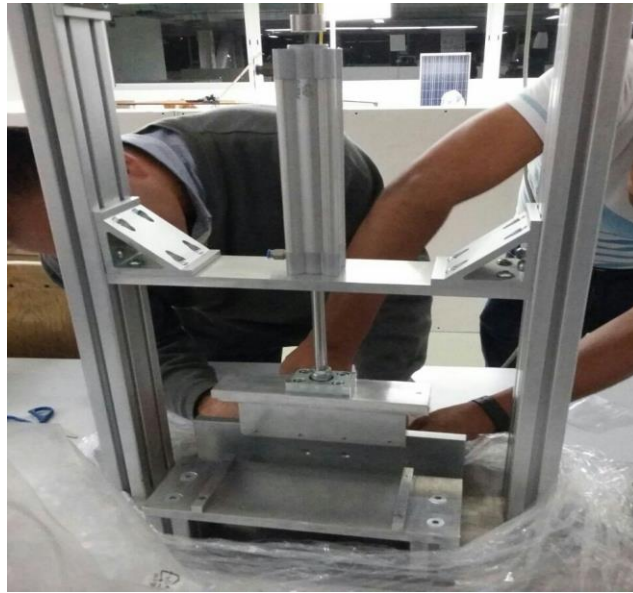
- *EL PLC manda la señal de calibración de presión de sellado a la electroválvula reguladora de caudal.*
- *Internamente se configura un reloj para sincronizar los tiempos del PLC.*
- *El PLC se encuentra en el estado de revisión de condiciones de presión y temperatura adecuadas (lectura de temperatura de mordaza y lectura de presión de la electroválvula reguladora de caudal). Mientras el PLC no encuentre las condiciones necesarias, continua con el proceso de precalentamiento de mordaza manteniendo una alarma (luz1) a de configuración para que usuario sepa en qué estado se encuentra el banco.*
- *Cuando el PLC encuentre las condiciones necesarias el proceso de sellado térmico puede efectuarse dando una señal de alarma (luz 2) a al usuario de que el banco está listo.*
- *El usuario ingresa y alinea las probetas o el material a sellar, dando una señal al PLC (botón 2) de que el material se encuentra listo para ser sellado.*
- *El PLC acciona la electroválvula biestable para que el actuador baje y comience el proceso de sellado.*
- *Se acciona un sensor de final de carrera el cual da la señal al PLC de que comenzó el proceso de sellado térmico y con ello se inicializa un reloj pre-configurado.*
- *Cuando el reloj termine la cuenta, se dispara la señal, que acciona la electroválvula biestable, para que el cilindro regrese a la posición inicial.*
- *Al llegar a la posición inicial el cilindro acciona un sensor de final de carrera, el cual da la señal al PLC de que el proceso de sellado se ha llevado acabo.*
- *PLC da la alarma (luz 3) al usuario de proceso terminado.*
- *Si el usuario necesita reconfigurar valores manda la seña (botón 3) al PLC de reconfigurar, la cual estará libre al término de cada proceso de sellado.*
- *El PLC pasa al estado de configuración.*
- *Sino se espera la señal (botón 2) para comenzar el ciclo.*

En todo el algoritmo anterior, se puede dar por sentado el control del banco de pruebas de sellado térmico, al ser un proyecto que requería de tiempos de entrega demasiado cortos en relación a los distintos y diversos sistemas, fue necesario realizar calibraciones a mano del banco de sellado térmico, teniendo como precedente el algoritmo anterior, pues este es parte de lo que se denominaría trabajo a futuro ya que el simple hecho de desarrollar cada etapa de lo anterior escrito requería de una demanda mayor de tiempo y recursos, de tal suerte que el trabajo presentado a través esta documentación abarca en su gran medida diseño mecánico de ambos bancos, revisión de circuitos de accionamiento manual para el caso del banco de pruebas de sellado térmico, instrumentación del banco de pruebas de tensión de probetas estandarizadas por ende y para terminar de abordar los circuitos de accionamiento manual lo que el circuito neumático y el circuito de resistencias fueron simplificados para su uso en las primeras pruebas.

En el caso del circuito neumático se implementa un botón el cual acciona una electroválvula neumática 5/3 para realizar el accionamiento del cilindro neumático teniendo un regulador de presión manual para saber el rango de presión a la cual se está sellando y un cronometro, todo lo anterior mediante la supervisión de un usuario.

En lo que compete al circuito de resistencias o calentamiento de mordazas, se realiza mediante la conexión predefinida por el fabricante del controlador mostrado en el Diagrama 1 del Anexo 7.1.3, ya que este especifica que al ser utilizados termopares tipo j para el censado de la temperatura, la salida de respuesta puede ser mediante relevadores de estado sólido, lo cual es seleccionado debido al tiempo de respuesta por lo cual la reproducción del circuito de resistencias es como lo muestra el anexo antes mencionado.

Para terminar el diseño de detalle del banco de sellado térmico se muestran las imágenes en las cuales se da la validación de los componentes mecánicos durante la entrega del mismo por parte de la empresa encargada de manufactura, así como algunas de las pruebas previas a lo que sería la validación de circuitos neumáticos y electrónicos.



*Imagen 21. Revisión de ensamblado y tolerancias en el momento de la entrega del banco de pruebas para sellado térmico*



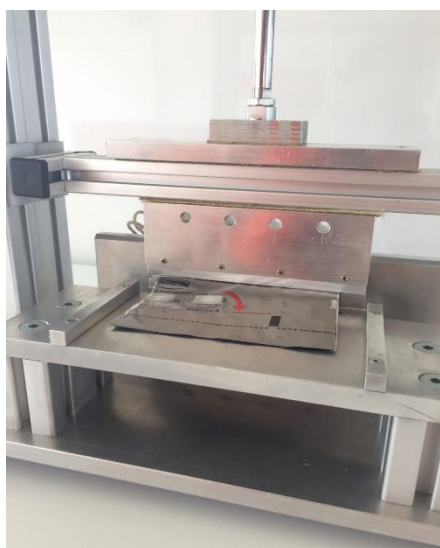
*Imagen 22 Revisión e implementación del circuito de resistencias calibrando los controladores PID a 102°C*



*Imagen 23 Banco con circuito neumático y circuito eléctrico en fase 1 y fase 2*



En las Imágenes 21, 22 y 23 se muestra el proceso de validación mecánica electrónica y de control del banco de pruebas de sellado térmico el cual culmina su fase de diseño a detalle obteniendo probetas selladas bajo los estándares de la norma (ASTM F88, 2007) como los mostrados en las Imagen 24- A y 24- B dando por concluido el apartado del diseño de detalle del banco de sellado térmico



*Imagen 24 -A) Proceso de sellado térmico mediante el uso del banco de sellado térmico diseñado en este trabajo 24-B) Probeta sellada cumpliendo con las medidas de la norma ASTM F88*

## 4.2 BANCO DE TENSION PARA PROBETAS DE SELLADO TÉRMICO.

### 4.2.1. PRIMERA ITERACIÓN.

#### 4.2.1.1. DISEÑO CONCEPTUAL.

Para el diseño conceptual del banco de pruebas de tensión en su primera iteración en primer lugar, se realizó la recopilación de datos sin procesar de los clientes, pero, para el caso del proyecto de este trabajo, se realizó de manera indirecta por medio de la observación de los diferentes procesos realizados para llevar a cabo la prueba de tensión en máquinas comerciales, especializadas en dicha prueba, que se tienen registrados y documentados. De las observaciones hechas, se pueden resaltar las siguientes:

- Las maquinas comerciales que realizan la prueba de tensión tienen amplios rangos de trabajo, lo cual las hace versátiles.
- La prueba de tensión se realiza de manera automatizada y de manera continua sin opción de control manual del proceso, velocidad constante.
- Las pruebas realizadas en estas máquinas están estandarizadas mediante la norma (ASTM F88, 2007) Ver anexo 7.2.
- Los resultados de las pruebas realizadas se muestran a manera de gráficas de fuerza contra desplazamiento.
- Las máquinas son grandes, robustas, muy precisas.
- El costo comercial de las maquinas es muy elevado, por lo que generalmente se paga por el servicio prestado en lugar de adquirir esas máquinas.

Partiendo de las observaciones que se mencionan en el listado anterior, a manera de tabla (Ver Tabla 8) se expone la interpretación de la información obtenida expresada en necesidades clasificadas en dos categorías:



Categoría	Información del proceso	Necesidad interpretada
Aspectos en toda máquina que realiza la prueba de tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las máquinas comerciales que realizan la prueba de tensión tienen amplios rangos de trabajo, lo cual las hace versátiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diseño tiene que considerar la versatilidad en el funcionamiento del banco: <ul style="list-style-type: none"> <li>-La prueba se puede ejecutar en distintos materiales que requieren que se ejerza distinta fuerza para llegar a la ruptura.</li> <li>-Hay un rango amplio de desplazamiento entre las mordazas</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las pruebas realizadas en estas máquinas están estandarizadas mediante la norma ASTM F88.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las medidas de las mordazas deben considerar como medidas mínimas, las medidas de una probeta estándar.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados de las pruebas realizadas se muestran a manera de gráficas de fuerza contra desplazamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesita tener una interfaz que muestre de manera gráfica los resultados.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las máquinas son grandes, robustas, muy precisas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es necesario reproducir las pruebas de manera precisa a en un banco de pruebas de menor tamaño pero robusto en cuanto a su funcionamiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La prueba es estandarizada en cuanto a velocidad de ejecución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El desplazamiento de las mordazas es a velocidad constante.</li> </ul>
Aspectos de características a mejorar en una máquina que realiza la prueba de tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>La prueba de tensión se realiza de manera automatizada y de manera continua sin opción de control manual del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diseño del banco de pruebas debe considerar hacer el proceso de modo automatizado o manual para poder hacer diferentes análisis durante la prueba haciendo uso de una interfaz amigable que controle el proceso.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El costo comercial de las máquinas es muy elevado, por lo que generalmente se paga por el servicio prestado en lugar de adquirir esas máquinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El banco de pruebas necesita tener un costo accesible y la interfaz de control debe ser amigable para que cualquier usuario pueda hacer las pruebas de tensión.</li> </ul>

*Tabla 8. Necesidades extraídas de la observación y análisis de la prueba de tensión en máquinas comerciales.*

Las necesidades encontradas se han organizado en primarias y secundarias, de modo que en el diseño del banco se priorice el cumplir con los requerimientos que surgieron a partir de las necesidades primarias, dicho esto, se mencionara que se consideran como necesidades primarias, las correspondientes a la categoría de *Aspectos en toda máquina que realiza la prueba de tensión*, mientras que las necesidades secundarias son las que pertenecen a la categoría *Aspectos de características a mejorar en una máquina que realiza la prueba de tensión*.

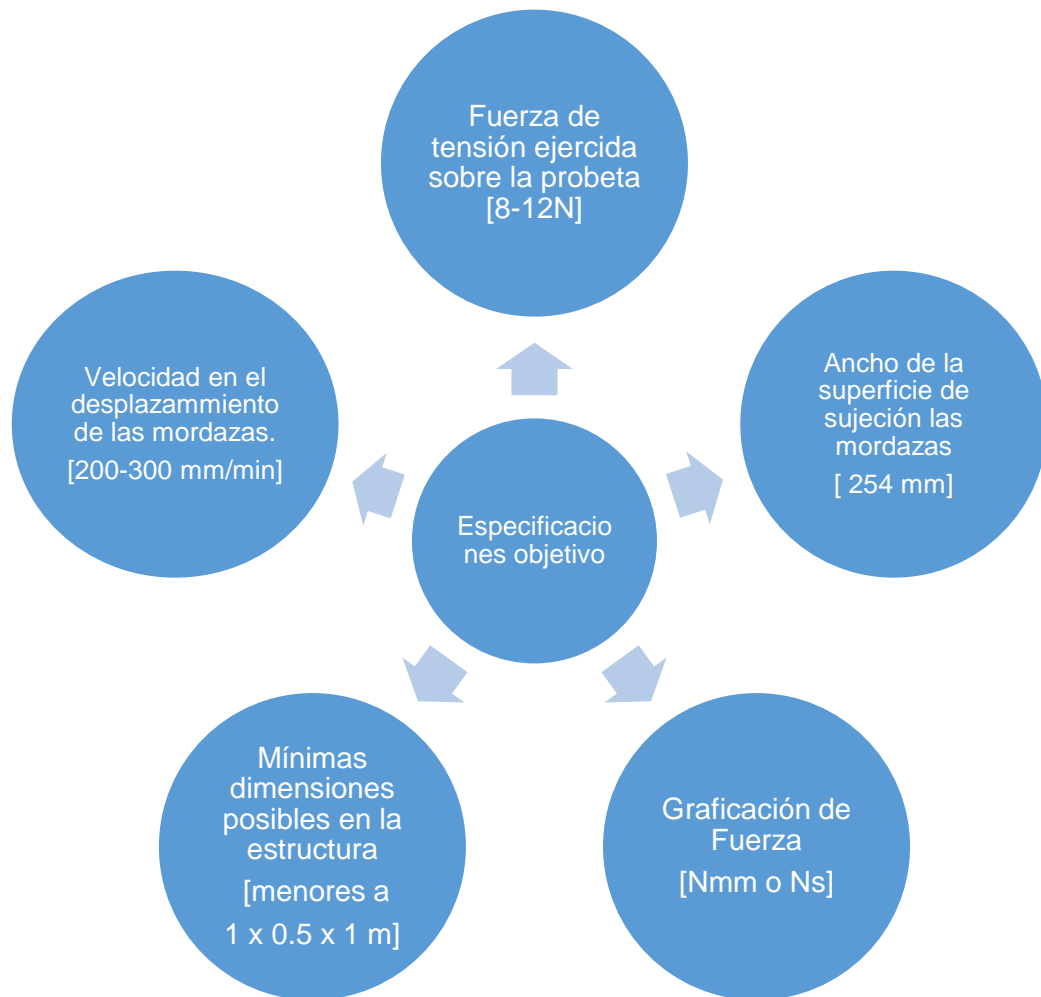
Las necesidades primarias son las que tienen la mayor importancia y las que se deben cubrir al cien por ciento, pues se consideran como características funcionales dentro el diseño del banco para pruebas de tensión, no se descartan las necesidades secundarias puesto que estas dan a nuestro proyecto las mejoras necesarias para marcar la diferencia entre las máquinas de tensión que se encuentran en el mercado actualmente

La reflexión hecha para los resultados obtenidos, así como para el desarrollo del proceso, enmarcan los principales retos que se retoman para hacer el diseño conceptual del producto, de modo que se logre cubrir las expectativas del cliente y a su vez se logre satisfacer nuestros alcances propuestos en un inicio. De manera resumida decir que los retos principales son; poder determinar las especificaciones que cubran al cien por ciento las necesidades marcadas como primarias, lograr que el diseño del producto cubra las necesidades secundarias de modo que con las especificaciones generadas por estas últimas se pueda obtener un producto funcional y de características superiores a las encontradas en productos comerciales, y generar mediante las pruebas realizadas a través del diseño de este producto una línea de investigación que vaya más allá de los estudios que se han realizado anteriormente.

De acuerdo a (ULRICH & EPPINGER, 2009) las necesidades son independientes de cualquier producto particular que se pueden desarrollar, no son específicas al

concepto que en última instancia perseguimos mientras que las especificaciones dependen del concepto que seleccionado, pues las especificaciones para el producto seleccionado a desarrollar dependerán de lo que sea técnica y económicamente factible y de lo que la competencia ofrezca en el mercado, así como de las necesidades del cliente.

Teniendo en cuenta esto, El proceso de diseño de este trabajo hace la traducción, tanto de las necesidades primarias como de las secundarias, en las especificaciones que se muestran a continuación en el Diagrama 11. Estas especificaciones son las “*especificaciones objetivo*” a las que ya se hizo referencia anteriormente y mediante las cuales se proceder a hacer la selección de los componentes que constituyen el banco para pruebas de tensión.



*Diagrama 10. Especificaciones objetivo del banco de pruebas de tensión provenientes de las necesidades de la Tabla 8*

Para realizar el diseño tanto de la primera como de la segunda iteración del banco que realiza la prueba de tensión se tuvo que considerar el funcionamiento que desempeña el banco en una prueba de tensión según lo demanda la norma (ASTM F88, 2007) que se ha mencionado anteriormente, por lo que a continuación se expone dicho funcionamiento:

1. Colocar la probeta sellada en los elementos de sujeción del banco, con cualquiera de las técnicas recomendadas (Imagen 7).
2. Desplazar los elementos de sujeción a una posición neutra, considerada como “Cero máquina”, en la cual se mantendrá la probeta estirada, pero sin ejercer tensión sobre la misma.

3. Accionar el desplazamiento del elemento de sujeción a la velocidad propuesta en la norma, con la finalidad de comenzar la prueba de tensión.
4. Registrar la fuerza utilizada durante la prueba, así como el desplazamiento.

De manera gráfica en el Diagrama 11, se muestra el plano de situación con componentes necesarios para poder realizar la tarea descrita en el párrafo anterior.

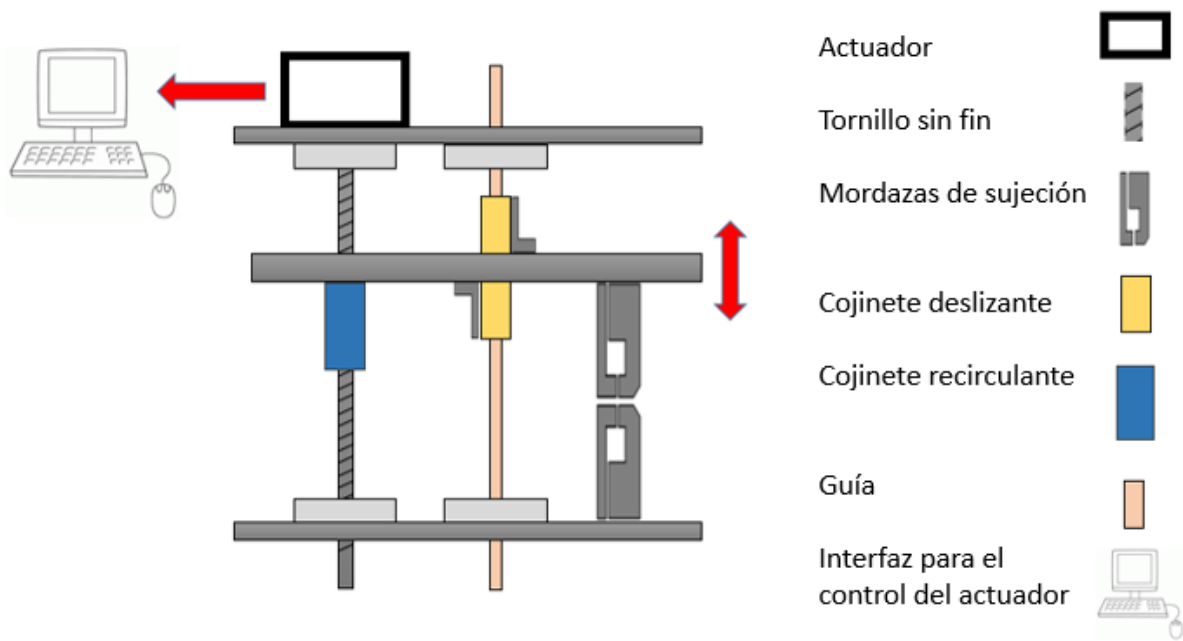


Diagrama 11. Diseño conceptual del banco de pruebas de tensión



#### 4.2.1.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES.

La selección de los componentes, de acuerdo al diseño conceptual en su primera iteración, considera el uso de los siguientes componentes:

- Estructura.
- Guías.
- Actuadores lineales.
- Mordazas para sujeción de probetas.
- Servomotor con sus controladores y adaptadores.
- Software para el procesamiento de datos obtenidos.

En la Tabla 9 se muestran, de manera detallada, los componentes requeridos, así como sus principales especificaciones tanto de diseño como de compra:

La estructura del banco de pruebas se constituye por una base de aluminio y perfiles del mismo material que son ensamblados mediante los sujetadores mecánicos adaptables a dichos perfiles, estas piezas, en conjunto, forman un marco en el que se sujetarán todos los componentes, de ahí su importancia al momento de seleccionarlos. Las especificaciones que se toman en cuenta para el diseño del Estructura, son:

Piezas mandadas a pedir por catálogo	Especificaciones de diseño	Especificaciones propuestas de compra
<b>Sujetadores mecánicos</b>	Adaptable a perfil de aluminio 40 mm X 80 mm	50 mm x 50 mm x 50 mm
<b>Ejes de acero rectificadas</b>	Restringir movimientos de rotación	3/8 in
<b>Rodamiento lineal</b>		Modelo (SPB-6)
<b>Husillos de bolas</b>	Control de tensión lineal	Modelo (SRT10x2M)
<b>Tuerca embalada</b>		Modelo (SRT10x2M)
<b>Perfiles de aluminio</b>	Rigidez en el marco del banco	40 mm x 80 mm x L
<b>Piezas mandadas a manufacturar</b>	Especificaciones de diseño	Especificaciones de compra
<b>Mordazas</b>	Dimensiones con base a la película y a la norma	Dimensiones mostradas en los planos
<b>Bases</b>	No se debe sobrepasar el área de 600 mm x 300 mm	Placa de aluminio de 10 mm
<b>Componentes de control</b>	Especificaciones de diseño	Especificaciones de compra
<b>Servomotor SGMJV-04A3M61</b>	Par: 1Nm, Potencia: 0.4 kW	Voltaje: 200 VCA, Potencia: 0.4 kW
<b>Controlador y tarjeta Mecatrolink</b>	Compatibles con el servomotor	Modelo compatible con el servomotor SGMJV-04A3M61
<b>Software</b>	Especificaciones de diseño	Especificaciones de compra
<b>LabView</b>	Interfaz gráfica	Compatible con servomotor

*Tabla 9 Necesidades extraídas de la observación y el análisis de la prueba de tensión en máquinas comerciales.*

- a) El material debe poder aportar la rigidez necesaria a la estructura para poder ser el soporte de todos los componentes, pero debe ser fácil de maquinar y con un costo accesible, por lo cual se elige un aluminio 6013 para las piezas mandadas a maquinar y un aluminio AW- 6060, que es propio de los perfiles de aluminio BOSCH (Rexroth Bosch Group, 2016). Como en el caso del banco anterior, estos materiales son tipos de

aluminio comercial de fácil maquinabilidad en maquinaria convencional y lo suficientemente rígidos para soportar a todos los componentes y en el caso de los perfiles, soportar el par máximo que podría proporcionar el servomotor durante la prueba de tensión, es decir 1 Nm.

- b) Tanto los perfiles como los sujetadores o brackets usados para armar el marco deben ser de fácil ensamble, de modo que, de ser requerido, se puedan cambiar las dimensiones en el marco, haciendo de este un proyecto más versátil al que se le puede dar más de una aplicación. Los perfiles elegidos para dicho propósito son perfiles tipo BOSCH, pues por su geometría aportan la rigidez necesaria sin dejar de ser perfiles ligeros, además de que *los perfiles BOSCH tienen unas ranuras especialmente sólidas y unos agujeros centrales grandes que permiten uniones de perfiles incluso para cargas elevadas estáticas y dinámicas mediante empalmadores con gran capacidad de carga* (Rexroth Bosch Group, 2016) con lo cual su ensamble con otros elementos es fácil y práctico (Ver Imagen 25), pues simplemente se hace uso de los sujetadores o elementos de unión que se encuentran en el mercado, específicamente para esta aplicación.

Los datos técnicos tomados en cuenta para aprobar su selección se muestran en el anexo 7.1.1 “*Tablas perfiles Bosch*” (Tabla 1) obtenidas del Catálogo *Perfiles y elementos básicos de mecánica – Perfiles y accesorios* (Rexroth Bosch Group, 2016). Estos datos se toman en cuenta para hacer los diferentes análisis estáticos en la estructura, también son los datos que se toman en cuenta como parámetros al momento de hacer análisis por elementos finitos para dar características al material simulado en el software.

El único caso de flexión que se podría analizar en el marco, es en el perfil superior señalado con el número 4 en el plano *EXP-001* del anexo 7.5.1 “*Planos banco de prueba para prueba tensión primera iteración*”,

siendo la fuerza que podría llegar a producir flexión, la correspondiente al peso del actuador, que para la primera iteración fue el de un servomotor de 1.3 kg, que se traducen en 12.8 N aproximadamente.

Dicho lo anterior la Tabla 2 del anexo 7.1.1 “*Tablas perfiles Bosch*” se muestra la manera práctica de calcular *Flexión de los perfiles*, se toman en cuenta las primeras fórmulas de flexión, *Flexión del perfil por la fuerza F para cargas estáticas - caso2*, para hacer un estimado y con ello determinar que la deformación resultante se puede considerar como despreciable y *Flexión del perfil por el propio peso*, que la al igual que la deformación anterior, está resulta despreciable debido a que el perfil superior tiene una longitud muy pequeña. Así mismo, se revisa la tabla *Capacidad de carga de la ranura del perfil*, de modo que se puede corroborar que el perfil BOSCH de 40mmx80mm es el adecuado para ser el marco del banco.

$$f_2 = \frac{FxL^3}{192 E x 1x10^4} = \frac{12.8 x 385^3}{192 (70000) x 1x10^4} = 0.0054 \text{ mm}$$

- c) Las medidas del área de la base no deben sobrepasar un área de 300mm x 600mm, por lo que el perfil que constituye el soporte superior no debe tener medidas que sobrepase los 600 mm, dicha base es un elemento mandado a fabricar, por lo que no se necesita hacer ninguna selección, si no que se le da a conocer al fabricante dichas especificaciones en cuanto a las dimensiones, así como la disposición para cada barreno con el cual se hace el ensamble de los demás componentes en la base mediante los planos que se encuentran en el 6.5.1 de este documento.
- d) Se requiere tener un amplio rango de carrera o desplazamiento en la mordaza superior, de modo que se puedan realizar diferentes pruebas de tensión. Para lograr esto se necesita que la altura de los perfiles sea la suficiente para permitir este rango amplio en la carrera que como mínimo

será la medida de la carrera del husillo de bolas, más la altura de la mordaza inferior y superior con sus componentes más una tolerancia.

Tanto los ejes de acero rectificadas como los bujes embalados, tienen como finalidad servir de guías que restringen el movimiento de rotación de la tuerca embalada que irá desplazando a la mordaza superior. La razón de tener bujes embalados en cada guía o eje es para tratar de evitar en la medida de lo posible la fricción y con ello disminuir la pérdida de potencia en el actuador. Dichas piezas son piezas mandadas a pedir, por lo que únicamente se hace una selección de acuerdo a las medidas de diseño del banco, puesto que los esfuerzos que sufrirán se estiman como mínimos de acuerdo al par de torsión requerido para hacer la prueba que oscila entre 8 y 12 N.m, según pruebas previas con instrumentos de medición muy simples (dinamómetros).

El husillo de bolas y la tuerca de bolas para el mismo, son las piezas que permitirán el desplazamiento de la mordaza superior, ya que funcionan como transductores del movimiento de rotación del actuador en un movimiento de desplazamiento lineal. Para la selección de estos componentes se considera el paso mínimo disponible en el mercado para que con esto se pueda tener la mejor resolución posible al momento de medir el desplazamiento vertical.

En primera instancia, las características para seleccionar el tornillo de bolas son las siguientes:

- El paso considerado para un tornillo de 10 mm de diámetro fue de 2mm, pero al no ser un valor que se encuentra en el mercado de manera inmediata se considera un tornillo de bolas con paso 5, ya que la precisión de las medidas en el desplazamiento con este cambio, se ve afectada de manera mínima.
- Respecto a la longitud del tornillo se especificó que tuviera como mínimo 38 cm, pues para la prueba de tensión en el sellado térmico propuesta, el desplazamiento es de 30 mm, que corresponde al doble

de la longitud del ancho del área sellada. Es decir, se eligen 38 cm de longitud para dar con ello un rango amplio y que le otorgue versatilidad en pruebas posteriores puesto que el desplazamiento de la mordaza superior depende de la longitud del tornillo, debido a que la mordaza superior está sujeta a la pieza denominada *Guía tornillo* en donde se encuentra acoplada la tuerca embalada para el tornillo (Ver plano PI-004 del anexo 7.5.1 "*Planos banco de prueba para prueba tensión primera iteración*", permitiendo así el desplazamiento.

Las mordazas superior e inferior son piezas mandadas a fabricar, por lo que es requerido especificar el diseño mediante los planos que se muestran en el anexo 7.5.1. Estas piezas son los elementos de sujeción para la probeta, por lo que para su diseño se considera la medida estándar <sup>del</sup> ancho de la probeta de acuerdo a la norma (ASTM F88, 2007) y se procura que tengan la mejor sujeción posible diseñando un estriado (ranuras maquinadas en ambas caras que se embonan entre sí) en las caras que tienen contacto con la probeta.

El conjunto de servomotor con su controlador y adaptador (Tarjeta Mecatrolink), es requerido como parte fundamental en el banco de pruebas, puesto que estos componentes generan un movimiento de rotación que se traducirá en un movimiento de desplazamiento lineal necesario en la prueba de tensión. Como información adicional, no cualquier equipo de cómputo es capaz de trabajar con la tarjeta "Mecatrolink", para dicha tarea se requirió usar un equipo con ranuras del tipo puerto PCI (periferal component interconnect). El servomotor seleccionado es el servomotor Yaskawaa SGMJV-04A3M6, porque además de su disponibilidad en el mercado, cuenta con las características mínimas necesarias para realizar la prueba de tensión de una forma precisa, esto es:

- Tiene una potencia es de 400 W trabajando con 200VAC para obtener un par de 1.27 N.m, valor que incluso está sobrado para hacer las pruebas de tensión en termo sellados, pero que a su vez tiene la

capacidad de hacer pruebas de tensión en otra clase de probetas que necesitan una mayor fuerza para para poder llegar a su esfuerzo último.

- Cuenta con un encoder absoluto de 20 bits, para dar gran precisión al momento de controlar el desplazamiento de la tuerca para el husillo de bolas mediante la rotación del servomotor.
- Este servomotor puede operar y regular la velocidad requerida por la Norma (ASTM F88, 2007), que está en el rango de 200 a 300 mm por minuto, que traducido a revoluciones por minuto son 60, valor que está dentro del rango de trabajo del servomotor que va de 0 a 6000 rev/min
- El servomotor en conjunto con su controlador es compatible con la tarjeta Mecatrolink que a su vez establece una comunicación con LabView, de modo que se tiene la capacidad de controlar, monitorear y mostrar de manera relativamente fácil los pámetros del servomotor que son de nuestro interés, es decir, par de torsión y posición del encoder que se puede traducir en desplazamiento lineal.

Lab View® es el software que se utiliza para poder visualizar y procesar los datos obtenidos en la prueba de manera fácil y sencilla en una interfaz gráfica. Se hace uso de este software en específico, debido a que el controlador del servomotor cuenta con una tarjeta llamada Mecatrolink para establecer y facilitar la comunicación con una computadora personal (PC) mediante dicho software.

Lab View® cuenta con una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería. LabVIEW está diseñado para incorporarse con otro software, ya sea métodos alternativos de desarrollo o plataformas de fuente abierta. (National\_Instruments\_Corporation, 2016).

## Justificación de los elementos mecánicos utilizados

### Ejes:

Los elementos considerados como ejes son únicamente las dos *Barras guía*, marcadas con el número 12 en el plano EXP-001 del anexo 7.5.1 “*Planos banco de prueba para prueba tensión primera iteración*”, pues estos elementos no transmiten potencia y únicamente funcionan como guías paralelas de la *Guía del tornillo*, en la cual se sujeta la mordaza superior. La importancia de estas barras guía recae en que por medio de ellas se debe asegurar la alineación de la mordaza superior con la línea de tensión totalmente vertical.

### Flechas

A diferencia de los ejes, las flechas permiten transmitir potencia (BUDYNAS & NISBETT, 2008), por tal razón la flecha que nos permite transmitir la potencia del servomotor para generar la rotación del tornillo sin fin y desplazamiento vertical de la mordaza superior es únicamente la flecha que se encuentra en el servomotor y que se acopla mediante un cople al husillo de bolas.

### Rodamiento lineal

Al ser elementos de rodadura para movimientos de traslación, los rodamientos lineales son utilizados en el banco de pruebas, en conjunto con las guías rectificadas, para desplazar la mordaza superior que se encuentra acoplada en la pieza *Guía del tornillo*. Estos rodamientos únicamente se seleccionan de un catálogo buscando las características de precisión y rigidez.



### 4.2.1.3. DISEÑO DE DETALLE

Diseño y manufactura de los elementos mecánicos para banco de pruebas de tensión.

El diseño a detalle de las piezas manufacturadas obedece a los requerimientos que se expresaron como especificaciones en los apartados anteriores, y al diseño conceptual propuesto. De modo que, en este capítulo, se revisa el proceso seguido para poder realizar el diseño de detalle del banco para pruebas de tensión, así como de las principales razones que justifican dicho diseño.

#### MORDAZA SUPERIOR

La MORDAZA SUPERIOR está compuesta por dos partes principales, *Mordaza hembra* y *Mordaza macho*, y dos tornillos que funcionan como la unión entre ellas, de modo que las consideraciones hechas en su diseño a detalle las siguientes:

La *MORDAZA MACHO SUPERIOR* es la pieza que se acopla a la *GUÍA TORNILLO* sujetándose mediante dos tornillos pasados, razón por la cual ésta pieza (Mordaza macho superior) cuenta con dos barrenos escariados cuyo diámetro de escariado corresponde al diámetro de la cabeza de los tornillos y el diámetro es el diámetro nominal de los mismos, pero con un ajuste de holgura, que para este caso es de 0.1 mm que permite tener un juego muy amplio.

La *MORDAZA MACHO SUPERIOR* cuenta con otros dos barrenos, pero roscados y tienen la medida del diámetro y del paso correspondientes a las medidas de los tornillos que sirven de unión entre ambas partes de la mordaza. Estos barrenos roscados se pueden visualizar en la vista frontal del plano *PL-002* (ver anexo 7.5.1 “*Planos banco de prueba para prueba tensión primera iteración*”), y están colocados de manera que la presión ejercida por ambos tornillos se encuentre bien distribuida al momento de ser atornillados en esta pieza.

La *MORDAZA HEMBRA SUPERIOR*, únicamente cuenta con dos barrenos simples con el diámetro correspondiente al diámetro de los tornillos que sirven de unión entre ambas partes de la mordaza, pero con ajuste de holgura, ya que en estos

barrenos se colocan los tornillos con perilla como tornillos pasados que se roscaran únicamente en la contraparte de esta pieza, esto es, en la mordaza macho superior.

Para la cara lateral izquierda mostrada en el plano ya mencionado de la *MORDAZA HEMBRA SUPERIOR* se considera un chaflán de 45° respecto a la cara superior, pues con esto se consigue una mejor visualización al momento de colocar y ajustar la probeta en la mordaza para ejecutar la prueba, además de que le aporta una mejora en la estética de la pieza.

La longitud del ancho de las mordazas considera solamente, ser mayor a la longitud del ancho de la probeta, es decir, debe ser mayor a 25.4 mm que es la medida máxima permitida para las probetas que sugiere la norma (ASTM F88, 2007). Se ha decidido que el ancho será mayor a los 100 mm, para dejar suficiente espacio para la sujeción de la probeta en este tipo de pruebas sin dejar a un lado la posibilidad de que en un futuro se puedan utilizar estas mismas mordazas para otras pruebas con diferentes probetas que pueden tener medidas superiores a la antes mencionada.

Tanto para la *MORDAZA MACHO SUPERIOR* como para la *MORDAZA HEMBRA SUPERIOR*, las caras que se encuentran en contacto con la probeta, es decir, las caras en las que se lleva a cabo la sujeción, deben tener un estriado de modo que una cara embone con la otra, dicho de otra manera, que una sea la contraparte de la otra. Esto se muestra en los planos *PL-001* y *PL-002* del anexo 7.5.1, de la mordaza hembra y la mordaza macho respectivamente, en donde se resaltan el *DETALLE-B* que muestran el paso y el ángulo con el que se hicieron los dientes de cada estriado coincidente con su contraparte.

#### *MORDAZA INFERIOR.*

Al igual que la mordaza superior, la mordaza inferior tiene dos partes principales, esto es la *MORDAZA INFERIOR MACHO* y la *MORDAZA INFERIOR HEMBRA*, ambas son muy similares a las anteriores, con la única diferencia de que para estas

se hace una modificación en la disposición de los barrenos en los que se hace la sujeción a la estructura, esto se considera debido a lo siguiente:

Se contempla que la sujeción de la MORDAZA INFERIOR a la estructura sea en la base mostrada en el plano *PL-006* del anexo 7.5.1 y de manera fija, de modo que la única mordaza que se pueda desplazar sea la MORDAZA SUPERIOR, de modo que un extremo de la probeta esté fijo siempre, por medio de una mordaza al momento de hacer la prueba, tal como lo menciona la norma (ASTM F88, 2007).

Otra razón de fijar la mordaza inferior, mientras que a la mordaza superior se le permite un desplazamiento es debido a que las mediciones para el desplazamiento y para la fuerza que se registrarán en la prueba, se pretenden tomar únicamente de la información adquirida a través del servo pack para el servomotor lo cual implica que si la mordaza inferior se mantiene totalmente fija a la tierra del mecanismo, el desplazamiento de la mordaza superior corresponderá a lo registrado en el servomotor con sus debidas conversiones.

Dicho lo anterior, se hace la aclaración de que los planos utilizados para la manufactura de estas piezas corresponden a los planos *PL-001* y *PL.002* con la nota de que la disposición de los barrenos en la *MORDAZA INFERIOR MACHO*, se hacen en la parte inferior de ésta.

### *GUÍA TORNILLO*

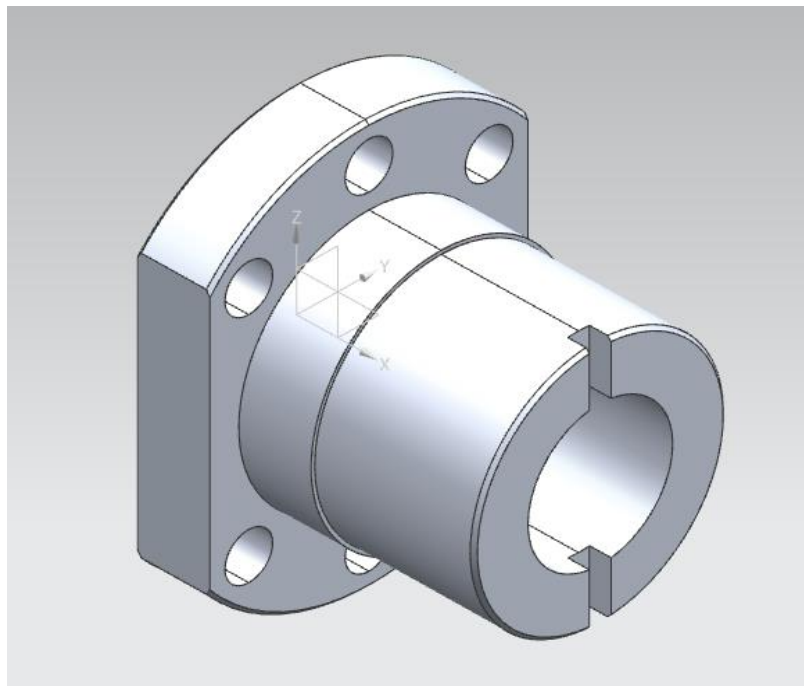
La *GUÍA TORNILLO* es una pieza fundamental en el diseño del banco de pruebas debido a que es el elemento que se acopla al tornillo sin fin y a la mordaza superior para permitir el desplazamiento vertical requerido para ejecutar la prueba de tensión, esta placa está descrita a detalle en el plano *PL-004* mostrado en el anexo 7.5.1, donde se plasma algunas características tomadas en cuenta para su diseño:

La medida de los barrenos marcados como el número 1 y 2 en el plano ya mencionado, corresponden a la medida del diámetro externo de los bujes

embalados que se colocarán en las guías, por lo tanto, al barrenar esta pieza se debe hacer tomando en cuenta el dejar un ajuste de apriete de modo que los bujes queden fijos en la pieza y puedan cumplir con su función de manera adecuada. Para este caso el ajuste es de apriete o de intersección ligera H8/k7.

El barreno central en la vista frontal del plano ya mencionado, corresponde al barreno donde se coloca la tuerca para el tornillo sin fin, éste barreno tiene un ajuste indeterminado F8/h7 debido a que el ajuste lo determinan finalmente los tornillos que se encuentran en la Tuerca y que se atornillan en esta pieza.

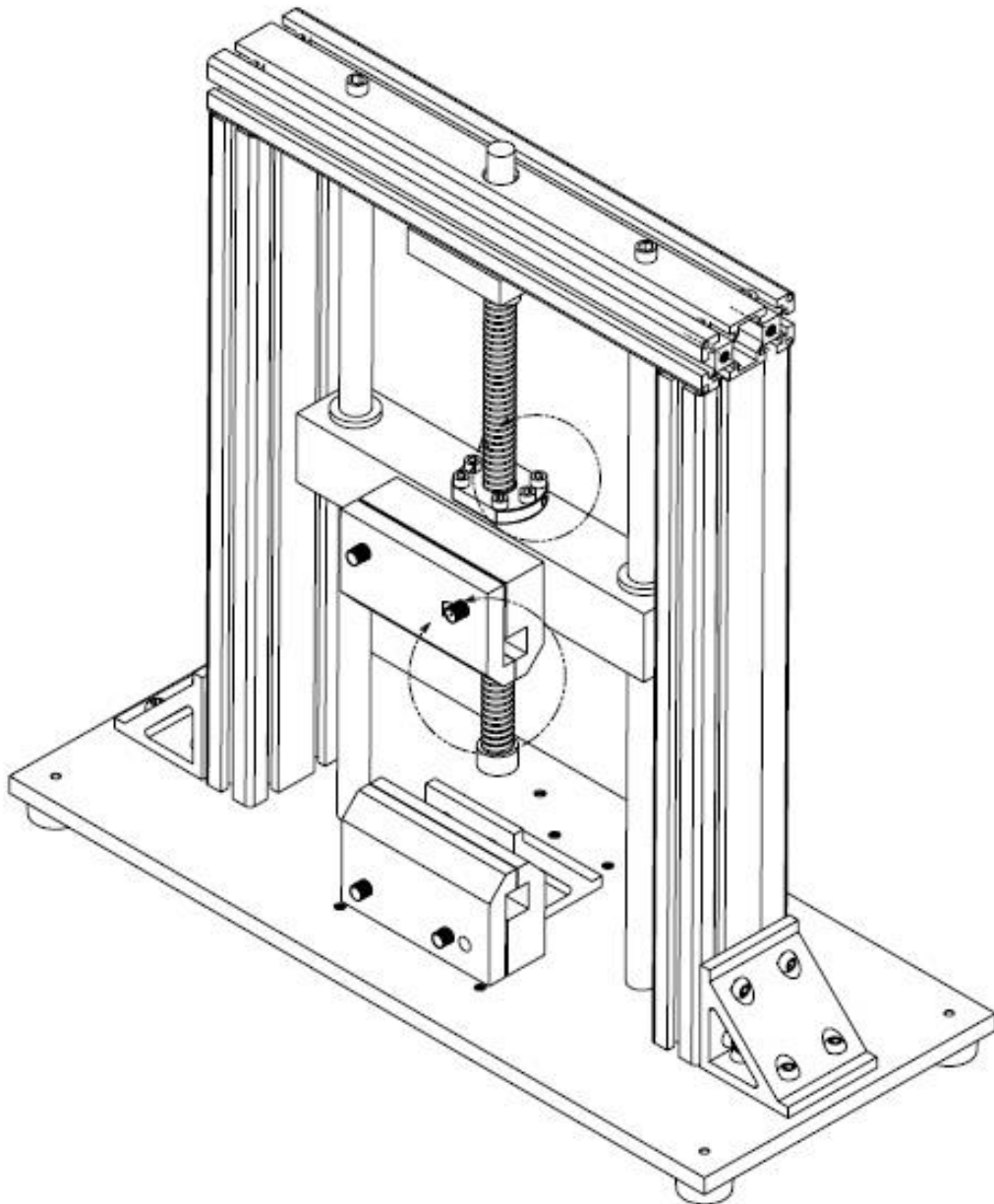
Los barrenos con los números 4, 5, 6, 7, 8y 9 son barrenos roscados cuyas medidas de diámetro y paso corresponden a un tornillo tipo M6 y tienen la disposición específica que se muestra en el plano debido a que la Tuerca para el tornillo sin fin que se colocará en ese barreno, cuenta con los mismos barrenos para que de esa manera se pueda sujetar en la pieza en donde se acoplará Imagen 26.



*Imagen 25. Cople de sujeción entre tornillo sinfín y barra guía diseñado en software PLM NX® versión 10*

### *PLACA BASE.*

La *PLACA BASE*, cómo su nombre lo indica, sirve como elemento base para colocar cada una de las piezas y componentes del banco, por lo que, lo único que se considera para su diseño es la disposición de los elementos que van colocados directamente en ella, así como su método de ensamble o unión, que de manera generalizada se trata de barrenos, ya sean roscados o no.



*Imagen 26. Ensamble del banco de pruebas de tracción en la primera etapa de iteración*

En la Imagen 26, se muestra el ensamble del *Banco para la prueba de tensión*, y en la parte inferior se puede apreciar la disposición de los componentes. Dicho lo anterior, las consideraciones para los diferentes barrenos son las siguientes:

La distancia entre centros de los barrenos 15 y 16, que corresponden a los barrenos para sostener las *Barras Guías*, consideran tener exactamente la misma medida que la distancia entre centros de los barrenos 1 y 2 de la *GUÍA TORNILLO*, de modo que la tolerancia requerida para la posición de los barrenos 15 y 16 es de 0.05 mm, pues en caso de que no coincidir los centros se puede tener una deformación en las barras y no se tendría un deslizamiento adecuado de los componentes acoplados a las barras.

La posición de los barrenos en los que se atornilla la pieza marcada con el número 14 en el plano *EXPLOSIVO TENSIÓN EXP-001 del anexo 7.5.1*, se procuró que cuando la *MORDAZA INFERIOR* se alinee en dicha pieza se siga manteniendo la alineación vertical para la línea de tensión generada por la mordaza superior e inferior en la probeta.

Los barrenos en los que se atornilla la *MORDAZA INFERIOR*, deben estar posicionados de modo que se cuiden que la cara de la *MORDAZA INFERIOR* y la cara del *ESQUINERO* marcado con el número 14 se encuentren tocándose, para que por medio del *ESQUINERO* se pueda verificar la alineación vertical de la mordaza.

La disposición entre los barrenos 9, 10, 17 y 18, así como los barrenos 13, 14, 21 y 22, debe ser tal que coincidan con los barrenos de los *Esquineros* con los que se sujetan los perfiles del marco del banco y deben procurar que la distancia entre las caras coincidentes con los perfiles verticales, sea la misma que la medida del perfil horizontal que se encuentra en la parte superior del marco.

Todos los barrenos en los que se colocan las piezas son simples agujeros sin rosca para Tornillos M6 y con una tolerancia de 0.1 mm pues no se requieren de gran precisión ya que las piezas se atornillan mediante tuercas o en ellas mismas en el caso de las piezas que están roscadas en su cara inferior.

Los barrenos 1, 2, 3 y 4 son los únicos barrenos roscados puesto que es en donde se colocan los tacones que tienen un vástago roscado incluido para poder colocarlos en donde se necesiten.

Revisión de los ajustes en el ensamble del banco para pruebas de tensión.

La revisión de la manufactura y del ensamble de cada una de las piezas consistió en, de acuerdo a los planos mostrados en el anexo 7.5.1, revisar los siguientes puntos:

- Revisión de ajustes y tolerancias en todas las piezas.
- Revisión de restricciones geométricas, especialmente las de paralelismo, perpendicularidad, concentricidad y simetría.
- Revisar las dimensiones de cada una de las piezas, así como su disposición en conjunto.

Instrumentación con un servomotor.

La instrumentación del *Banco para pruebas de tensión* se hace considerando que el actuador para mover el mecanismo para ejecutar la prueba de tensión es un servomotor con su propio controlador, lo cual implica que no se tenga ningún otro medio para medir la fuerza requerida en cada instante mientras se realizan las pruebas de tensión. Por lo tanto, en esta sección titulada *Instrumentación*, se hablará del Servomotor, del controlador Servopack y de la tarjeta PCI con la que se estableció comunicación entre el Servopack y el programa Labview.

Componentes utilizados en la instrumentación.

Los componentes que se utilizan en la instrumentación de este Banco ya se han mencionado en el apartado *Selección de componentes*, en esta sección se describen de manera detallada presentando las consideraciones hechas para su implementación.

Servomotor con alimentación trifásica.

El servomotor SGMJV-04A3M61, como ya se ha mencionado, es el actuador que se considera para poder mover el *Tornillo o husillo de bolas* con el que se desplaza a la mordaza superior, pero además de ello se considera como el medio por el cual se pueden obtener los datos de fuerza y desplazamiento durante la ejecución de la prueba de tensión.

En cuanto a su disposición y acomodo en el *Banco para la prueba de tensión*, el servomotor se tiene que acoplar en la parte superior del marco al *Husillo de bolas* mediante una base atornillada al marco, tal como se puede observar en la Imagen 27.



*Imagen 27. Servomotor Yaskawa® SGMJV-04A3M61 usado como elemento motriz en el banco de pruebas en la primera iteración*



La base en la que se atornilla el servomotor es el elemento mediante el cual se fija el servomotor a la estructura o marco y debe tener la altura suficiente para que el cople de la flecha del servomotor y el vástago del husillo pueda unirse y alinearse de manera justa. Esta base está constituida por las cuatro piezas de extruido hexagonal colocadas entre dos placas de aluminio barrenadas que se observan en la Imagen 27.

Por otra parte, para su conexión el servomotor cuenta únicamente con dos cables, uno de ellos conecta el servomotor al Servopack que a su vez se conecta a la toma eléctrica trifásica de 200 VCA, y el otro que conecta el encoder del servomotor al Servopack que cumple la función de controlador. Estas conexiones se hacen siguiendo las recomendaciones del diagrama de Conexiones de cables mostrado en el manual del Controlador (Ver Diagrama 1 en anexo 7.1.2), y se eligen los cables CABLE PARA SERVOMOTOR MODELO: JZSP-CSM02-03-E y CABLE CON CONECTOR PARA ENCODER INCREMENTAL MODELO: JZSP-CSP01-03-E que son los recomendados para nuestra aplicación de acuerdo a la Tabla de selección de cables que se muestra en el mismo manual.

Controlador Servopack para el servomotor.

El Servopack SGDV-2R8A11B es el amplificador digital propio del Servomotor seleccionado, que sirve como controlador, tiene una capacidad de 400 W, es de un solo eje y cuenta con comunicación en red en caso de ser necesario. Este controlador es del tipo Sigma-5 Mechatrolink que, de acuerdo a sus especificaciones mostradas, ofrece un alto rendimiento en la industria debido a su respuesta de frecuencia, tiempos de asentamiento reducidos y control más preciso. Además, proporciona una configuración más rápida, una sintonización más sencilla y supresión de vibraciones.

Algunas de las especificaciones del controlador tomadas en cuenta para hacer su correcta instalación, así como para establecer las condiciones de trabajo, son las y su operación son las siguientes:

- Requiere una alimentación trifásica de 200 a 230 VAC tanto para el circuito principal como para el circuito de control.
- El método de control es por *rectificación de onda completa IGBT control PWM de onda sinusoidal impulsado*.
- El Servopack cuenta con la realimentación por parte del encoder incremental absoluto de 20 bits.
- La temperatura del ambiente de trabajo debe estar entre 0 y 55 °C.
- La humedad relativa del ambiente debe ser 90% o menos.
- La resistencia a la vibración es de 4.9 m/s<sup>2</sup>
- No se debe usar el Servopack en los siguientes lugares: Lugares expuestos a gases corrosivos o inflamables, lugares expuestos al contacto con agua, aceite, productos químicos, lugares donde haya polvo, incluyendo el polvo de hierro y sales, lugares expuestos a ruido de electricidad estática, fuerte electromagnética / campos magnéticos, radioactividad

Mientras que las consideraciones de actuación y las referentes a su funcionamiento, que también se tomaron en cuenta, son principalmente las que se describen en el siguiente listado:

- El rango de control de velocidad es de 1:5000 cuya velocidad más baja es a la que no se detendrá el motor con una carga de par nominal.
- En la regulación de velocidad se toma en cuenta que ésta puede cambiar debido a variaciones en la tensión o en la temperatura. Para la tensión nominal:  $\pm 10\%$ : 0% (a velocidad nominal), y para la temperatura de  $25 \pm 25$  ° C:  $\pm 0,1\%$  máx. (A la velocidad nominal).
- La comunicación se estableció principalmente mediante el puerto RS-422 al hacer uso de la tarjeta PCI Mechatrolink, y ocasionalmente mediante el puerto USB al hacer uso del programa Sigma Win en la configuración de algunos parámetros.

Tarjeta para establecer comunicación entre LabView® y el Servopack.

La tarjeta que sirve como medio para establecer la comunicación entre la computadora, específicamente con el software LabView®, y el Servopack, es la Tarjeta *PCI bus applied Mechatrolink communication interface card*, cuya instalación consta únicamente de hacer su conexión en uno de los puertos PCI de una computadora de escritorio tal como lo muestra la Imagen 2 del anexo 7.1.2 *Servomotor Yaskawa*, tomando en cuenta las siguientes precauciones:

- Para tocar la tarjeta se asegurará descargarse de la electricidad estática, incluso de ser posible se puede hacer uso de una pulsera antiestática.
- No se deben tocar los componentes ni la soldadura al manipular la tarjeta.
- Para montar o extraer la tarjeta se apagar la computadora y desconectar el cable de alimentación.
- La tarjeta se debe insertar completamente de modo que toque la parte posterior de la ranura PCI sin ser forzada.
- Se deben insertar y fijar los conectores de cable para la tarjeta, servodrive y módulos de entrada y salida.

El diagrama de conexión para la tarjeta Mechatrolink se ilustran en la Imagen 3 del anexo 7.1.2 “*Servomotor yaskawa*”, que muestra que únicamente se conecta un cable del tipo JEPMC-W6002-01 de puerto de la tarjeta CN1 al Servopack, y si es requerido, la línea de comunicación Mechatrolink se puede conectar a otros módulos.

Diseño de la interfaz gráfica para la adquisición de datos y el control del servomotor.

Para hacer el diseño de la interfaz gráfica se requiere hacer la instalación de un software desarrollado por National Instruments llamado LabView® en su versión 12.0. “Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench” o LabView® por su abreviatura en inglés, como ya se ha mencionado, es un entorno de desarrollo cuyo lenguaje de programación gráfica (G) utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja a su proceso de pensamiento. Por tal motivo, además de hacer la instalación de éste Software, se instala el complemento “*Yaskawa Labview*” *Driver*, para hacer la programación del Servomotor.

La interfaz gráfica para nuestro propósito en esta iteración está integrada por los siguientes elementos:

- Botón de paro o “*STOP*”, que detiene todo el proceso sea cual sea el estado en el que se encuentre.
- Un control “*Toggle Switch*” de “*Servo ON/OFF*” que en la Imagen 27 se puede apreciar como una palanca verde. Éste botón tiene como finalidad encender y apagar el Servomotor.
- Un control “*Text ring*” *Velocidad*, en el que se configura la velocidad a la que se ejecutará la prueba de tensión, puesto que de acuerdo a la norma (ASTM F88, 2007), la prueba se debe realizar a una velocidad constante dentro del rango de 200 a 300 mm/min.
- Un control “*Knob*” o perilla *Par*, con el que se configura el par máximo que el Servomotor tiene permitido entregar al momento de ejecutar la prueba de tensión.
- Un control “*Text ring*” *Par*, con el que también se puede configurar el parámetro de par máximo permitido.

- Un control “Text ring” “Axis number” para configurar el número de eje que corresponde al Servomotor con el que se está trabajando.
- Un control “Fill Slide” Posición para poder configurar la posición del Servomotor que se traduce en la posición de la mordaza superior que se desplaza gracias al husillo o tornillo sin fin.
- Un control “Text ring” en que se puede configurar también, la posición del servomotor.
- Una gráfica “Waveform Graph” en la cual se mostrarán en la gráfica y los parámetros de desplazamiento de la mordaza superior contra el Par que demande la prueba al momento de ser ejecutada.
- Una gráfica “Waveform Graph” en la cual también se mostrará el parámetro de desplazamiento de la mordaza superior, pero contra la fuerza ejercida que se obtendrá a partir del par demandado.

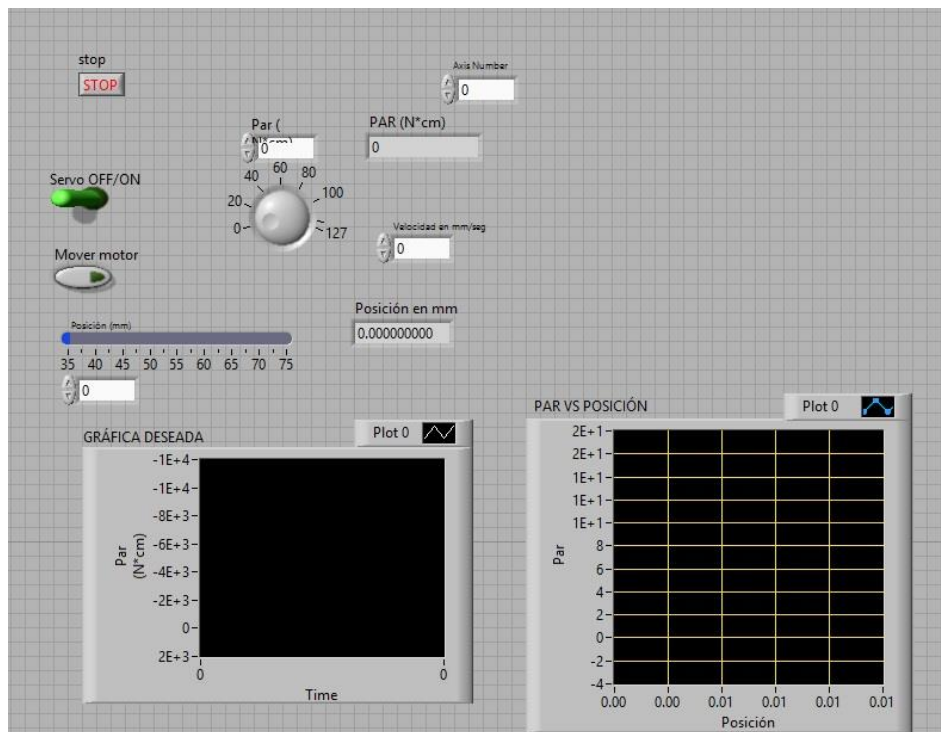


Imagen 28. Interfaz gráfica del banco de pruebas de tracción diseñado en el software Lab View® versión 7.5

Todos estos elementos que constituyen a la interfaz gráfica se muestran en la Imagen 28 a modo de bloques y en el siguiente apartado se hablará de su

programación para que cumplan con las tareas requeridas para ejecutar la prueba de tensión.

#### Programación del servomotor a través de su interfaz gráfica.

La programación en LabView® se hace de manera gráfica por medio de controles e indicadores que se colocan en el panel frontal que se puede diseñar como una interfaz gráfica para posteriormente hacer la programación mediante un diagrama de bloques. Al interactuar con la interfaz gráfica los controles definen las entradas y en los indicadores se muestran las salidas.

En el caso de este proyecto, para la interfaz mostrada en la Imagen 28, los controles e indicadores son los enlistados en el apartado “*Diseño de la interfaz gráfica para la adquisición de datos y el control del servomotor*” y es el objetivo de este apartado explicar de manera breve la programación mediante sus respectivos bloques. La programación mediante bloques se realiza de manera muy sencilla conectando los bloques de los diferentes objetos como controles, indicadores, funciones o constantes, entre sí mediante “cables” virtuales.

Los bloques necesarios para hacer la configuración, calibración y programación de los parámetros del servomotor se encuentran en un complemento para LabView® propio de Yaskawa®, estos bloques no se muestran en el panel frontal, pero son necesarios y ocupados en el diagrama de bloques. Entre los bloques principales de Yaskawa® que utilizamos en nuestra interfaz, se encuentran los siguientes:

- “*NT110 Mechatrolink Initialization*”. Éste bloque inicializa el Driver NT110 y genera la comunicación central del motor.
- “*Reset ServoNet*”. Resetea un nodo en la conexión de red mediante la realización de los comandos: “*Disconnect*”, “*Connect*”, “*Read ID*”, “*Config*”, “*Sensor On*” un “*Alarm Clear*”.
- “*Positioning*”. Realiza el posicionamiento en la posición objetivo usando la velocidad deseada.
- “*Read Parameter*”. Lee los parámetros actuales de funcionamiento.
- “*Servo Off*”. Apaga el Servopack.

- “*Servo On*”. El Servopack enciende el Servo.
- “*Stop Motion*”. Realiza una parada de desaceleración un posicionamiento de acuerdo al calor de desaceleración ajustad en los parámetros.
- “*Velocity Control*”. Controla la velocidad
- “*Write Parameter*”. Escribe los parámetros temporalmente y no son almacenados en la memoria E2PROM.
- “*Connect*”. Establece una conexión *MECHATROLINK II*.
- “*Disconnect*”

Para la interfaz ya mencionada, el diagrama de bloques correspondiente programado en Lab View® versión 7.5 es el que se puede observar en la Imagen 29. En el diagrama se puede observar que los bloques que se encuentran en el bucle más interno corresponden a las conversiones de los parámetros del servomotor para mostrarlos en las gráficas en unidades físicas de par contra unidades de desplazamiento, mientras que en los bucles externos realizan la conexión, inicialización y desconexión del Servopack con el servomotor.

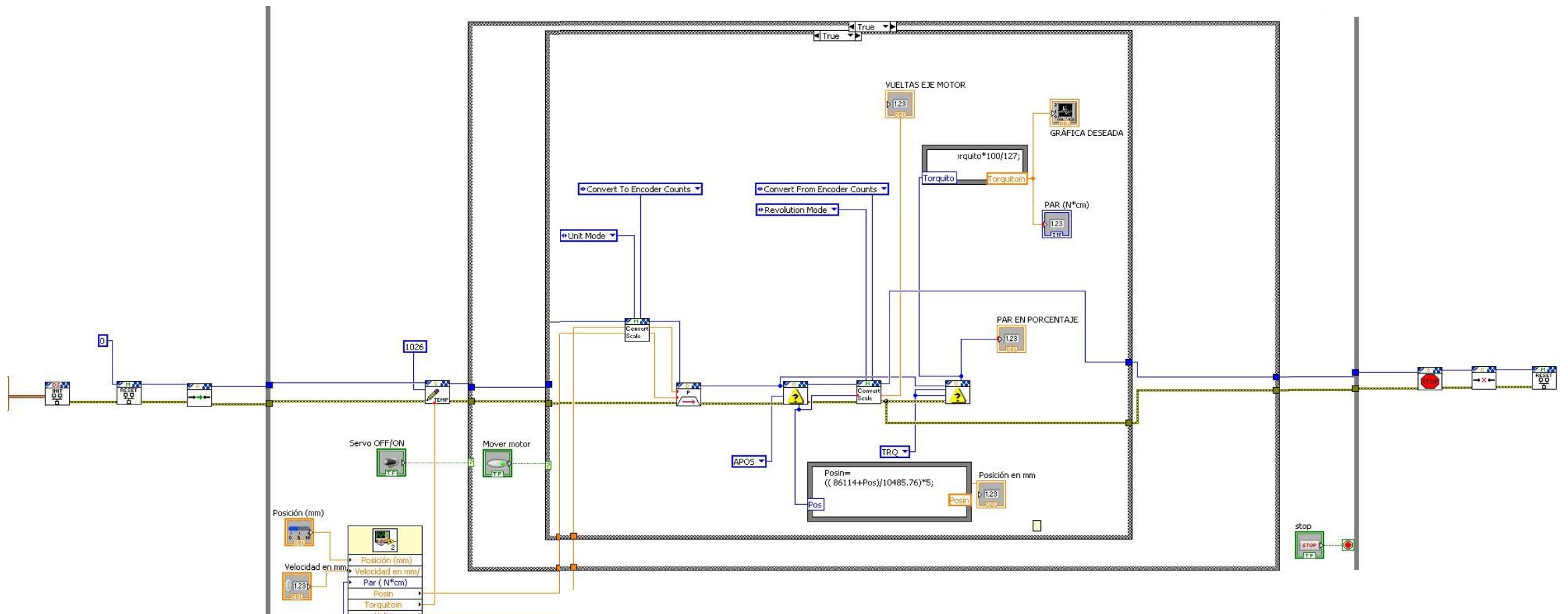


Imagen 29. Diagrama de bloques elaborado en Lab View® versión 7.5, de la interfaz gráfica para el sistema de adquisición de gráfica de prueba de tracción en el banco de pruebas de tracción



Adquisición y filtrado de datos con filtros digitales.

En esta primera iteración del Banco para la prueba de tensión, la adquisición de datos se pensaba hacer únicamente a través del Servopack y la tarjeta Mechatrolink para el Servomotor Yaskawa®, por lo tanto, dentro de la programación del Servomotor se tienen que tomar en cuenta la obtención, monitorización y la lectura de los parámetros de acuerdo a la con la ayuda de los bloques *Read parameter* y *Write parameter*.

Tras las primeras pruebas e intentos por medir a través del mismo controlador la fuerza ejercida al realizar la prueba de tensión, se hizo evidente la necesidad de un sistema de medición de fuerza externo debido a las pérdidas energéticas como la fricción y el peso de los objetos a desplazar no permitían medir con exactitud y resolución necesaria la fuerza empleada para hacer la ruptura en la probeta, por lo que se implementó en la cara inferior de la mordaza que estaba colocada en la base de la estructura una celda de carga Kistler®. La celda de carga requirió para su lectura ser conectada a una tarjeta de adquisición de datos DAQ y de este modo se hizo mucho más fácil y directa la lectura de la fuerza.

Evaluación del funcionamiento.

Aun con las modificaciones hechas a esta primera iteración, se llegó a la conclusión de que era requerida una segunda iteración, puesto que la presencia del controlador del servomotor generaba un ruido electromagnético imposible de suprimir mediante filtros físicos o digitales (ya que el adquirir el sistema de filtrado propio de la marca, representaba un costo elevado, lo cual no era una opción viable) pues era muy pequeño pero significativo en el rango de trabajo de nuestra prueba en probetas “termoselladas”. Después de realizar la prueba de tensión en otras probetas, como unos aretes para ganado vacuno, se concluyó que la primera iteración de este banco de pruebas puede funcionar al momento de realizar pruebas de tensión que superan los 20 N de fuerza.

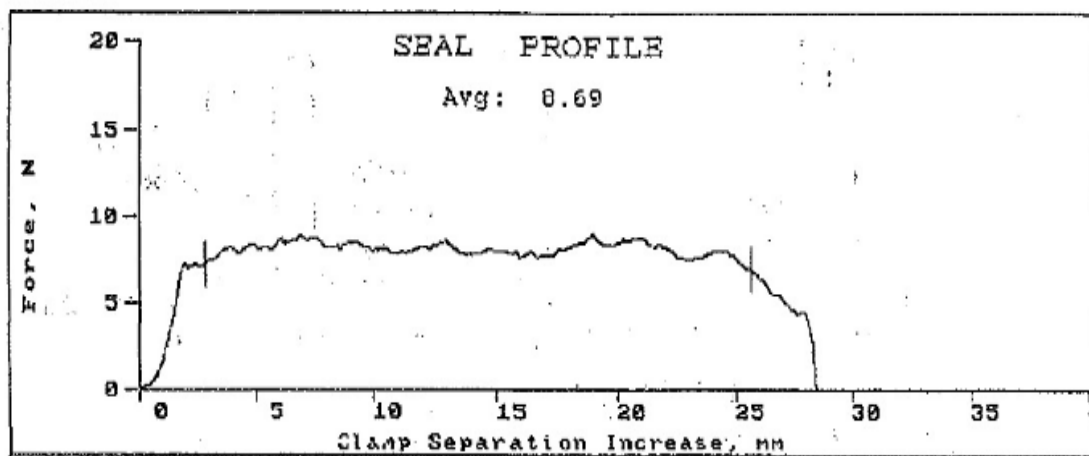
Dicho lo anterior, se evaluaron los aspectos a modificar, siendo los principales los que se mencionan a continuación:

- Cambio de motor a uno de corriente directa que no genere ruido electromagnético.
- Implementación de coples para poder trabajar con diferentes celdas de carga para conseguir versatilidad en el Banco y con ello poder realizar diferentes pruebas de tensión.
- Adaptación de la mordaza inferior para que se pueda unir a los coples en los que se colocan las celdas de carga y con ello se pueda medir la fuerza de manera más fácil y casi directa.
- Adaptación de la base de la estructura para poder colocar los coples que sujetan las celdas de carga.

### 4.3. SEGUNDA ITERACIÓN

Dentro de las múltiples etapas de diseño que existen en una metodología para el desarrollo de un concepto o producto final existe la capacidad de replantear alguna modificación para que con lo replanteado se dé solución a uno o varios problemas encontrados durante la evaluación de la funcionalidad del concepto o producto, de modo que la recurrencia entre un paso de la metodología de diseño puede ser repetido cuantas veces sea necesario con la finalidad de dar una solución más completa a los inconvenientes generados, al pertenecer a un proyecto de tipo industrial existen limitantes impuestas tanto por la inversión principal como por los tiempos recorridos para la entrega del mismo de modo que aunque teóricamente las mejoras y la capacidad de recurrir en una etapa del proceso de diseño es ilimitado y es útil apegarse a un calendario de trabajo y algunas restricciones impuestas.

En el caso del banco de Tensión se presentan un apartado de iteración, que comprende algunas mejoras debidas a inconvenientes con la forma de solución del problema principal el cual es obtener una gráfica de fuerza contra desplazamiento o deformación (que se traduce como una máquina de prueba de tensión), Lo anterior se presenta, como se ha mencionado anteriormente la norma (ASTM F88, 2007), expuesta en la gráfica 3 para validar la calidad del sello de una probeta obtenida



Gráfica 3. Perfil de un sello extraída de la página 771 de la norma (ASTM F88, 2007, pág. 771)

haciendo uso del banco sellado térmico bajo las exigencias expuestas en dicha norma, La gráfica en un inicio se planteó obtener a través de la medición directa del par de torsión del servomotor aunque esta idea y la implementación de la misma dio solución al problema posteriormente se presentaron los siguientes problemas.

La lectura del par de torsión del servo motor por se veía demasiado afectada directamente por la inercia de las mordazas, tornillo sin fin, y servomotor.

Un coeficiente de fricción viscosa rotacional que el servomotor tenía que vencer para poder hacer la lectura de par de torsión entregado

La lectura en el caso de las probetas obtenidas bajo las especificaciones del banco de pruebas, requerían una carga entre un rango de 7 a 14 Newton que al ser traducido a par de torsión aplicado por el servo motor resultaba demasiado pequeño o casi imperceptible en las mediciones por este método, a pesar de ello, en aplicaciones que requerían una mayor fuerza para poder hacer vencer el termo-sello esta lectura era muy clara.

Como parte de otros aspectos que dieron paso a una iteración en el banco de tensión fue el nivel de ruido detectado durante la medición proveniente de un campo magnético el cual era producido por un motor de inducción de corriente, que es el principio básico de funcionamiento dicho servo motor tal era el nivel de ruido que se infiltraba en la lectura del par de torsión que aunque se implementamos diversos filtros (tanto físicos como digitales) en la etapa de procesamiento de datos la lectura de la fuerza aplicada para vencer el sello térmico era imperceptible, además de ello no era posible obtener el perfil de sello como lo exigía la gráfica de la norma.

Todo lo anterior especifica inconvenientes con el diseño de la primera iteración por lo cual se establecen cuáles fueron las modificaciones tanto conceptuales, en el apartado de selección de componentes y el diseño a detalles de dicho banco para obtener un banco de tensión con la capacidad de generar información repetible y confiable.

#### 4.3.1.1. MODIFICACIONES EN EL DISEÑO CONCEPTUAL.

Como parte de las modificaciones de diseño conceptual se presentan las modificaciones necesarias a la tabla de necesidades (Ver Tabla 10) encontradas a través de la reiteración del proceso de diseño del banco de pruebas de tensión, puesto que a través de esta modificación es posible entablar el método de iteración recurrente expuesto como parte de la metodología usada y empleada a lo largo de este trabajo.

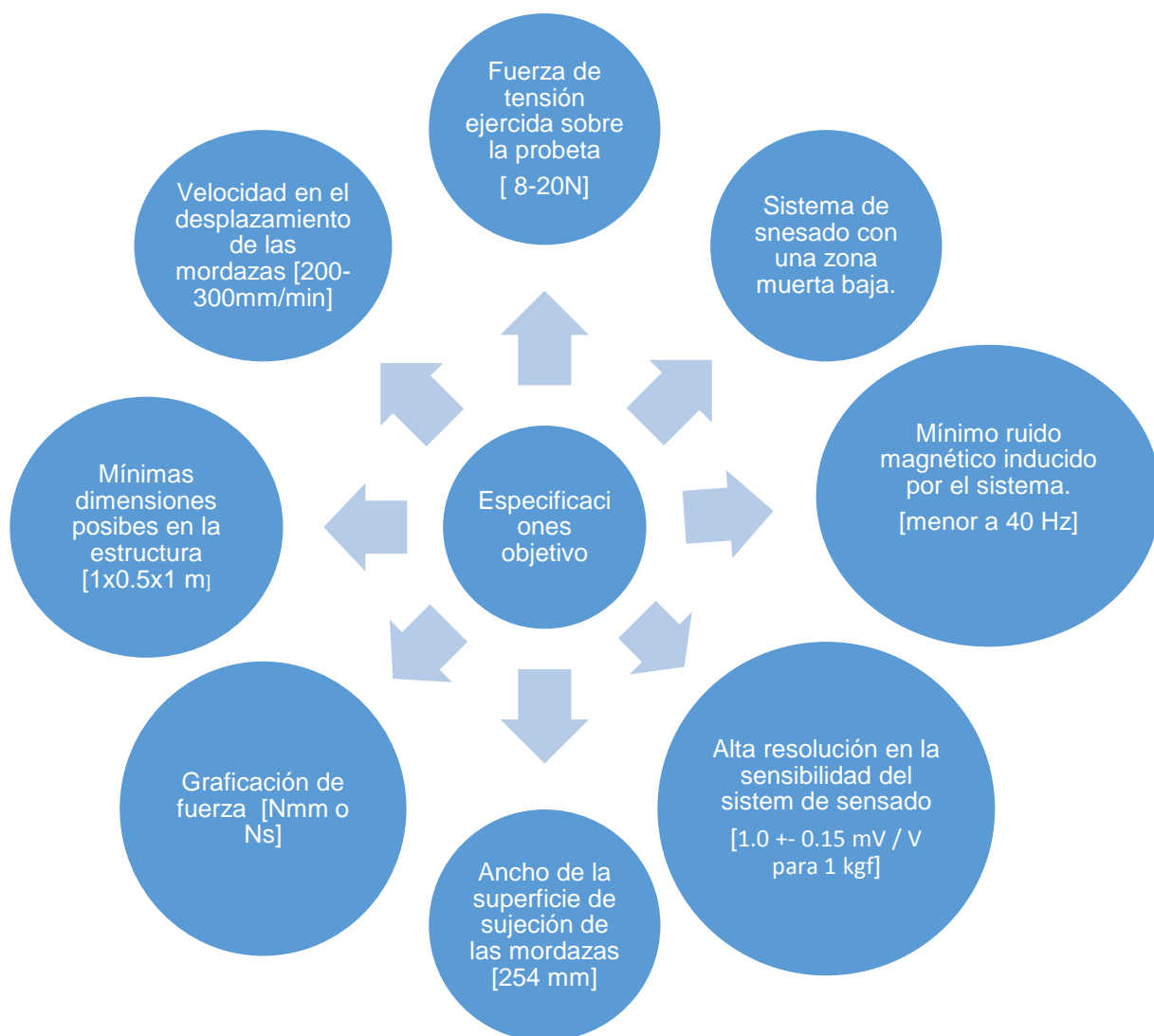
Es necesario mencionar que se mantienen en su gran mayoría las necesidades originales del banco de pruebas, sin embargo la nueva información interpretada genera posibilidades de solución que por ende a su vez de gran ayuda ver cuáles son las especificaciones (Ver Diagrama 12) que se generan a partir de las modificaciones a las necesidades y debido a ello los cambios en la selección de componentes, y el diseño de detalle. En este caso también es factible mencionar que para dichos cambios se tomaron en cuenta dos cosas muy importantes antes, las cuales fueron tiempos de entrega e inversión en proyecto ya que a este nivel no era factible el dejar de lado el trabajo y tiempo invertido con el anterior diseño como consecuencia en varios casos se solo se planteara y explicara una re manufacturación en alguna pieza puesto que es necesario para poder acoplar a la nueva iteración.

A partir de estas herramientas básicas dentro de la metodología de diseño es posible explicar de una forma primitiva la solución a los inconvenientes planteados, pues en el caso de adoptar un sistema motriz basado en una tecnología distinta a los sistemas de inducción magnética, se asegura que en la etapa de selección de componentes se evaluarán los distintos tipos de sistemas motrices y se adaptará aquel que genere una menor cantidad de ruido en el momento del censado, a su vez se tendrá en cuenta la facilidad de control mediante software. Otro de los aspectos destacables en esta etapa es la selección de un sistema de censado que genere la información de fuerza requerida en el ensayo de tensión y como características principales de este que debe de tener una amplia sensibilidad puesto

que como se observa en la gráfica de perfil de sello extraída de la norma *Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials* (ASTM F88, 2007), el rango de medición para este tipo de pruebas puede ir desde los 5 N hasta 20 N para hacer fallar el sello térmico. Además de ello en la gráfica obtenida por dicho ensayo de tensión es necesario poder ver el perfil del sello, el cual presenta cambios de .1N. Finalmente el sistema de censado debe tener como una de las características principales una zona muerta de medición muy baja de esta manera se podría hacer la recolección de datos de fuerza desde el inicio del ensayo de tensión teniendo en cuenta el offset del sistema debido a la inercia del mismo y al coeficiente de fricción entre los componentes el cual fue uno de los inconvenientes enlistados.

Categoría	Información del proceso	Necesidad interpretada
Aspectos en toda máquina que realiza la prueba de tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>La máquina obtenida durante el proceso de iteración uno no cuenta con un rango de medición adecuado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La prueba se puede ejecutar en distintos materiales que requieren que se ejerza distinta fuerza para llegar a la ruptura por lo que se requiere que el sensor tenga la sensibilidad adecuada al rango.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las pruebas realizadas en estas máquinas están estandarizadas mediante la norma ASTM F88.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las medidas de las mordazas deben considerarse como medidas mínimas, las medidas de una probeta estándar.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados de las pruebas realizadas se muestran a manera de gráficas de fuerza contra desplazamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesita tener una interfaz que muestre de manera gráfica los resultados.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las máquinas son grandes, robustas, muy precisas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es necesario reproducir las pruebas de manera precisa a en un banco de pruebas de menor tamaño pero robusto en cuanto a su funcionamiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La prueba es estandarizada en cuanto a la velocidad de ejecución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El desplazamiento de la mordaza es a velocidad constante.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El banco de pruebas de tensión genera ruido producido por campos magnéticos del servomotor de inducción durante la prueba de tensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El banco debe contar con un motor de DC para eliminar el ruido producido por el servo motor.</li> </ul>
Aspectos de características a mejorar en una máquina que realiza la prueba de tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>La prueba de tensión se realiza de manera automatizada y de manera continua sin opción de control manual del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diseño del banco de pruebas debe considerar hacer el proceso de modo automatizado o manual para poder hacer diferentes análisis durante la prueba haciendo uso de una interfaz amigable que controle el proceso.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El costo comercial de las máquinas es muy elevado, por lo que generalmente se paga por el servicio prestado en lugar de adquirir esas máquinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El banco de pruebas necesita tener un costo accesible y la interfaz de control debe ser amigable para que cualquier usuario pueda hacer las pruebas de tensión.</li> </ul>

*Tabla 10 necesidades con las respectivas modificaciones de necesidades para la segunda iteración del banco de pruebas de tensión*



*Diagrama 12. Necesidades con las respectivas modificaciones de necesidades para la segunda iteración del banco de pruebas de tracción*

Teniendo esto como parte esencial de las modificaciones conceptuales del banco de pruebas de tensión se muestran las modificaciones realizadas en el Diagrama 12 de funcionamiento expresado en la primera iteración y explicar en donde se presentarán las nuevas modificaciones realizadas.



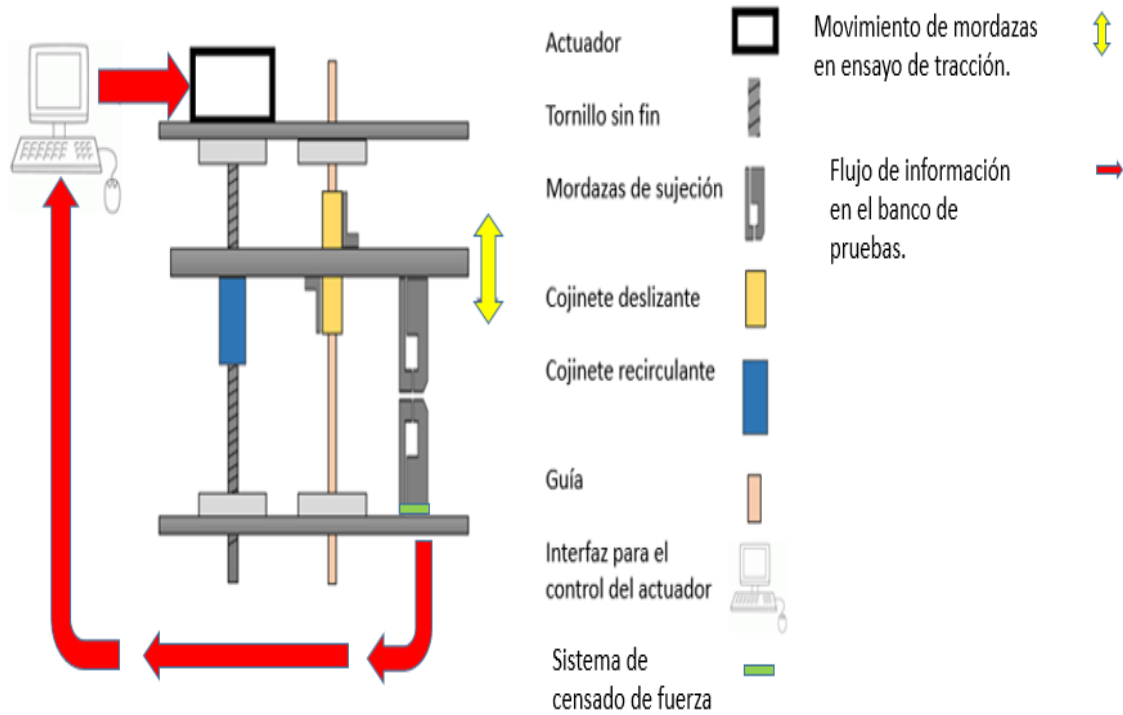


Diagrama 13. Diseño conceptual para el banco de pruebas de tensión en la etapa de su segunda iteración.

Para concluir el apartado de modificaciones en el diseño conceptual se presentara y explicaran las modificaciones que sufrió, en este caso se pretende no dejar de lado todo el trabajo realizado, por ello el Diagrama 13 trata de ejemplificar que en cuestión del Estructura, mordazas y elementos mecánicos de movimiento serán los mismos, buscando acoplar a ellos todos los componentes nuevos, para ello se presentaran la forma de acoplar todo mediante el diseño de detalle con piezas nuevas de acoplamiento que en esencia son piezas de manufactura convencional para se obtenga un ahorro considerable tanto en recursos como en tiempo para poder dar solución al proyecto.

En cuanto al sistema de censado de fuerza en el diagrama se expresa por medio de un bloque verde el cual mantiene comunicación con la computadora encargada del proceso del realización de la prueba de tensión para así captar directamente la fuerza aplicada durante dicha prueba para ello en las secciones posteriores de modificación se valuaran las opciones existentes de forma comercial, por ende se

da por concluida esta etapa de modificación en el diseño conceptual para continuar con la selección de componentes.

#### 4.3.1.2. MODIFICACIONES EN LA SELECCIÓN DE COMPONENTES

En cuanto a la modificación de componentes de la segunda iteración de diseño para el banco de pruebas de tensión, por analizar cuáles fueron las deficiencias que se presentaron por los componentes anteriores y a partir de ello exponer una búsqueda de nuevos componentes que mejoren el funcionamiento de los que remplazaran y que cumplan con las nuevas necesidades y especificaciones contempladas en el apartado anterior y aunque se pretende que este apartado sea breve en cuanto a al proceso de selección de componentes también se requiere esclarecer los puntos críticos del mismo.

El principal inconveniente en la iteración de diseño anterior a esta fue la cantidad de ruido censado durante las mediciones y calibración del sistema propiamente generados por campos magnéticos inducidos por el uso de un motor de inducción electrónica (Servo motor Yaskawa y servopack) cabe clarificar que dicho ruido se presentaba en pruebas de baja carga en las cuales el par censado era mucho menor a la inercia del sistema, en pruebas de alta carga el ruido era despreciable. Todo lo anterior nos brinda un criterio de selección principal el cual es el siguiente:

El sistema de movimiento del banco de pruebas debe acoplarse a la estructura del banco de pruebas de tensión diseñado en la iteración anterior pero esta selección debe de eliminar el ruido provocado por campos magnéticos y vibraciones mecánicas de tal suerte te también se acople al presupuesto de recursos del proyecto. De esta manera se proponen sistemas de solución en las cual se acoplan un motor neumático, un actuador neumático lineal o un motor de corriente directa por lo cual se presenta una tabla de ventajas y desventajas de cada sistema para poder seleccionar un tipos de sistema de movimiento, para ello se evaluaron distintos sistemas desde el punto de vista de información recolectada de catálogos de la empresas líderes y proveedoras nacionales de este tipo de tecnologías por lo cual mucha de la información de la siguiente tabla hace alusión a sistemas de potencia nominal entre rangos de  $\frac{1}{2}$  HP a  $\frac{3}{4}$ HP en el caso de los sistemas neumáticos acoplables al banco de pruebas de tensión en el caso del sistema de motor de corriente directa se hace referencia a equipo de 10W a 200W de potencia.

Sistema de accionamiento	Ventajas	Desventajas
<b>Corriente directa</b>	Bajo costo para el proyecto.	Necesidad de manufactura extra.
	Bajo nivel de vibración en el sistema.	Implementación de etapa de control
	Bajo consumo energético.	Potencia restringida
	Bajo ruido debido al campo magnético.	
	Fácil acoplamiento al Estructura del banco	
<b>Neumático</b>	Robustez en el diseño del banco de pruebas.	Alto costo de inversión
		Necesidad de manufactura extra.
	Sistema aplicable para altas y bajas cargas en la prueba de tensión	Dificultad de acoplamiento al Estructura del banco debido a las conexiones neumáticas
	Ruido debido a campo magnético Nulo	Nivel de vibraciones: audibles
		Implementación de etapa de control
<b>Cilindro neumático</b>	Robustez en el diseño del banco de pruebas.	Rediseño del Estructura del banco de pruebas
		Alto costo de inversión
	Sistema aplicable para altas y bajas cargas en la prueba de tensión	Dificultad de acoplamiento al Estructura del banco debido a las conexiones neumáticas
	Ruido debido a campo magnético Nulo	

*Tabla 10. Ventajas y desventajas en la selección de un sistema motriz para el banco de pruebas de tensión acorde a algunos parámetros expuestos por las empresas líderes manufactureras y proveedoras en México.*

Otro de los factores que a mencionar y que fue tomado en la toma de dicha selección fue la potencia de dicho sistema pues en el caso de los sistemas neumáticos la potencia era óptima para caso de tensión de carga de hasta 400N, esto era demasiado para los requerimientos del perfil de sellado el cual ronda entre 7N a 10N para poder vencer el sello térmico.

En cuanto a la información presentada en la Tabla 10 el sistema más conveniente para el banco de tensión es un motor de corriente directa a 24V (como el que se muestra en la siguiente Imagen) tomando en cuenta su existencia para el desarrollo

de este proyecto además de ello se opta por la implementación del motor con un Reductor-pack el cual aumenta el par de torsión del mismo para poder aumentar su rango de trabajo de 8N a 20N hasta 340N.

Como ya se ha mencionado anteriormente, al hacer uso de otro tipo de sistema motriz diferente al servomotor con su Servopack, se consideraron la selección de un sistema de sensado. Por tal razón en este apartado se incluye la selección de un sensor/celda de carga y la selección de una tarjeta de adquisición.

Las celdas de carga que se consideraron son las siguientes:

- KISTLER 9712B250, con un rango de medición es de 0 a 250 lbf y con una sensibilidad de 21.85 mV/lbf. Tanto esta celda de carga como el modelo KISTLER 9712B50, tienen la posibilidad de medir la fuerza a tensión o a compresión
- KISTLER 9712B50, con un rango de medición de 0 a 50 lbf y una sensibilidad de 94.49 mV/lbf.
- Celdas de carga en Voladizo para medición de fuerza o peso, basadas en galgas extensiométricas de 1 Kg

La celda de carga elegida para realizar la prueba de tensión en la probeta sellada térmicamente fue la última, pues es la que tiene menor rango de trabajo, por lo que se ajusta perfectamente a la aplicación en cuestión ya que la prueba no supera 1 kgf. Las características de esta celda de carga son las siguientes:

Carga Nominal : 1 kg

Salida nominal: 1.0 +- 0.15mV / V

No linealidad : 0.03% FS

Atraso: 0.03% FS

Repetibilidad : 0.03% FS

Impedancia de entrada : 1115 +-10%  $\Omega$

Impedancia de salida : 1000 +- 10%  $\Omega$

Resistencia de aislación :  $\geq$  1000 M $\Omega$

Razón de sobrecarga de seguridad : 150% FS

Razón de sobrecarga máxima :200% FS  
Intervalo de temperatura de operación :-20 - 60 °C  
Voltaje de operación recomendado :3 to 12 VDC.  
Voltaje de operación máximo :15 VDC  
Material : Aleación de Aluminio  
Clase de protección:IP65  
Cable : $\varphi$ 0.8 x 25 cm  
Tamaño de la tabla:150 x 150 mm

Por otra parte, se necesitó hacer uso de una Tarjeta de Adquisición de Datos de National Instruments o NI DAQ, por sus siglas en inglés, aparte de ello el hardware DAQ tiene la habilidad siguiente *“el hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC”*. (National\_Instruments\_Corporation, 2016).

La Tarjeta de Adquisición de Datos o DAQ utilizada es una DAQ NI USB, en la que se conecta el cable de la señal de la celda de carga, que se a su vez conecta directamente a la PC mediante el puerto USB para que se pueda hacer uso de los datos adquiridos dentro de la programación de bloques en LabView con la ayuda de los bloques de programación propios de National Instruments para sus tarjetas de adquisición.

#### 4.3.1.3. MODIFICACIONES EN EL DISEÑO DE DETALLE

Puesto que para esta segunda iteración sólo se hacen cambios en el sistema motriz y por lo tanto en el sistema de adquisición de datos, las modificaciones para el diseño de detalle consideran la adaptación de los elementos mecánicos sin la modificación de la estructura, así como la modificación de la instrumentación del Banco de pruebas.

Modificaciones y adaptaciones en los elementos mecánicos.

Cople Inferior para la celda de carga chica

El cople inferior para la celda de carga chica que se muestra en el plano PL-010 del anexo 7.5.2 , tiene como finalidad soportar y sujetar a la celda de carga más pequeña y mantenerla alineada con la línea de tensión, esto se traduce en que son necesarios dos coples inferiores (cople inferior de la celda de carga chica y cople de la celda de carga grande) con dos coples superiores, para que mientras el cople inferior de la celda de carga grande se mantiene fijo a la base de toda la estructura, el correspondiente a la celda de carga chica se encuentre libre y permita que la celda sufra un pequeño esfuerzo de flexión que se traduce como la fuerza ejercida al ejecutarse la prueba.

Es debido a lo anterior que en el diseño del cople se incluyen barrenos en ambos extremos para que en cualquiera de ellos se pueda atornillar el cople a la base ya mencionada, dichos barrenos son solamente pasados ya que para fijar el cople se hace uso de un tornillo con tuerca para facilitar su instalación procurando una mejor alineación del cople y con ello una mejor alineación de la celda de carga.

Este cople inferior también tiene la finalidad de ser intercambiable de acuerdo a la celda de carga, pues, aunque todas tienen la misma geometría rectangular, varían en sus dimensiones de acuerdo a su capacidad de medición, lo cual significa que

se tendrá un cople inferior diferente para cada aplicación que se le vaya a dar al banco de pruebas.

En cuanto a las medidas del cople, el requerimiento a partir del que se diseña es únicamente las dimensiones y geometría de la celda de carga, es decir, el cople tiene que tener un maquinado de forma rectangular cuyo ancho corresponde al ancho de la celda requerida de acuerdo a la aplicación, considerando el ajuste necesario para que los cables de la celda no se dañen y tengan la suficiente holgura pero que al mismo tiempo no se tenga un juego entre el cople y la celda que pueda ocasionar que esta última se desalinee. Como ya se mencionó la medida del maquinado donde se coloca la celda puede variar de acuerdo al tamaño de ésta y en este apartado se ejemplifica el diseño del cople inferior para la celda de carga chica que es la celda más delgada ya que es la que tiene el rango necesario para la medición de fuerza necesaria para romper la probeta propuesta para nuestra prueba.

#### Cople Inferior para la celda de carga grande

El cople inferior para la celda de carga grande tiene la misma aplicación que el cople correspondiente a la celda de carga chica y se diseña bajo los mismos principios, este cople tiene una aplicación más, pues con dos coples de este tipo se da soporte y sujeción a la celda de carga grande por ambos extremos, manteniendo uno libre y uno fijo sobre la base de la estructura, pero con el cople que se fija la celda grande a la base de la estructura también se fija la celda de carga chica para que únicamente se cambie el cople superior dependiendo de la aplicación y sea con ese con el que se procure el ajuste y la alineación.

#### Cople superior para la celda de carga.

El cople superior, que se utiliza tanto para la celda de carga grande como para la pequeña, tiene como finalidad sujetar la celda junto con el cople inferior y también tiene el propósito de sujetarse a la mordaza inferior para que de este modo la fuerza pueda ser medida casi directamente con la celda de carga, por lo tanto, en su diseño



que se describe en el plano PL-008 del 6.5.2, se hacen notar cuatro barrenos, dos en los extremos y dos en el centro del cople.

Los barrenos de los extremos son barrenos pasados que tienen la misma medida que los barrenos del cople inferior y conservan la alineación con ellos pues es través de estos que unen, mediante tornillos y tuercas, el cople inferior con el superior. Los barrenos que se encuentran más al centro de la pieza son utilizados para que este cople se fije a la mordaza inferior, de modo que dichos barrenos tienen que ser escariados para que las cabezas de los tornillos con los se fijaran no estorben ni interfieran con la celda de carga que se encuentra debajo.

#### Cople superior para celda de carga chica

El cople superior para la celda de carga chica, descrito en el plano PL-009 de anexo 7.5.2, se coloca sobre el cople inferior que se mantiene fijo en la base de la estructura del banco y juntos logran dar soporte y sujeción a la celda de carga mientras mantienen su alineación con la línea de tensión que pasa por el centro del plano en el que se encuentran los dientes de las mordazas. Este cople, al igual que el inferior solo tiene dos barrenos pasados con el mismo diámetro y se encuentran alineados para que se puedan unir entre sí mediante dos tornillos con tuerca.

En el caso de la celda de carga grande, es otro cople inferior como el descrito en el plano PL-007 que sirve como cople superior, de modo que, si se usa una celda de carga grande, con 3 coples inferiores para celda de carga grande y un cople un cople superior para soportar y sujetar dicha celda.

#### Mordaza Inferior

El uso de una celda de carga para poder medir la fuerza requerida al momento de hacer la prueba de tensión requirió la adaptación de la mordaza inferior para que fuera ésta (la mordaza), el elemento en el que se colocara dicha celda para así poder leer la fuerza de la forma más sencilla y directa posible. Estas modificaciones toman en cuenta los siguientes puntos:

-La mordaza no se debe encontrar fija en la estructura, puesto que será el elemento acoplado a la celda de carga y se necesitará desplazar para que se genera la lectura de la fuerza a través de la celda de carga.

-La cara inferior se integran barrenos para que la mordaza sea acoplada al cople superior con el que se sujetará a la celda de carga.

-El ancho de la mordaza se reduce para que se pueda colocar sin problemas sobre el cople superior además de que se consigue hacerla más ligera.

-Tanto para la mordaza inferior macho como para la hembra, las consideraciones para su diseño son las expuestas para la iteración anterior, pero tomando en cuenta las modificaciones que ya se han descrito en los párrafos anteriores.

#### Base de la estructura

En la estructura del banco para la prueba de tensión, únicamente se modificó la Placa Base descrita en el plano PL-006 de una manera muy sencilla, pues solo se necesitó hacer unos barrenos extras de acuerdo a las dimensiones de la longitud de la celda de carga para que, conservando la alineación de la mordaza inferior con la superior, en dos de ellos se pueda fijar el cople inferior que se muestra en el plano PL-007 y otros dos sean tomados como referencia para colocar el otro cople inferior y la mordaza se alinee de forma más fácil.

#### Instrumentación con un motor de corriente directa.

La instrumentación del banco de pruebas en su segunda iteración es la principal modificación que se tiene que hacer al momento del rediseño, pues la razón principal para hacer ésta iteración es debido a que el servomotor, con todos sus componentes, genera mucho ruido electromagnético que no se puede eliminar completamente, por lo que, en vez de esos componentes se tiene que hacer uso de un motor de corriente directa que trae como consecuencia la necesidad de un

sistema para poder medir la fuerza pues ahora no se puede hacer directamente con el par del motor.

Los componentes de la instrumentación de esta segunda iteración, así como la descripción de su función en el banco, se muestra a manera de lista a continuación:

- Motor de corriente directa con una reducción. Mediante la implementación de este motor se logra suprimir el ruido electromagnético y con ayuda de su reducción se logra obtener el par necesario para ejecutar la prueba satisfactoriamente. El control de la velocidad de este motor hace únicamente al modificar el voltaje que se le suministra y se verifica mediante un tacómetro, esto no resulta en problema debido a que la velocidad se configura antes de iniciar la prueba y se debe mantener constante de acuerdo a la norma bajo la cual se ejecuta dicha prueba.
- Celda de carga en voladizo. La adquisición de datos mediante esta celda se facilita mucho con respecto a las anteriores, pues únicamente se debe alimentar y conectar a la tarjeta de adquisición de datos, antes de adquirir la señal que nos proporciona, ésta debe pasar por una etapa o circuito de filtrado para que solo veamos en las gráficas las señales deseadas y el ruido sea eliminado.
- Tarjeta de Adquisición de Datos USB. En esta tarjeta de adquisición de datos se conecta la señal proveniente de un circuito de filtrado de señales para que después, a través del puerto USB, la señal ya filtrada se pueda procesar y utilizar dentro de la programación. Los datos adquiridos del circuito de filtrado, que a su vez provienen de la celda de carga, por último, se muestra a manera de gráfica desplegada en la interfaz creada en Lab View®.
- Circuito para filtrado de señal Paso altas. Este circuito tiene como propósito eliminar las señales con una frecuencia menor a los 100 Hertz, esto debido a que se busca quitar el ruido propio en la corriente eléctrica con la que se alimentan los componentes, de modo que a la tarjeta de adquisición únicamente llegue la señal correspondiente a la lectura de la fuerza que hizo

la celda de carga. A este circuito llega como entrada la señal proveniente de la celda de carga y el ruido propio en la corriente eléctrica, y como salida nos entrega las señales que se encuentran por encima de los 100 Hertz de frecuencia, es decir, nos entrega la señal limpia de las mediciones en la celda de carga.

## Evaluación

La aprobación de esta segunda iteración estuvo condicionada a la obtención de las gráficas de fuerza contra desplazamiento de la prueba de tensión para una probeta sellada térmicamente, pues la prueba de tensión para esa aplicación es nuestro objetivo principal, no obstante, queda abierta la posibilidad de utilizar el mismo banco de pruebas en otros rangos de trabajo y para otras aplicaciones al intercambiar los coples que sujetan a las celdas de carga. En el área de la instrumentación y adquisición de datos, queda abierta una línea de investigación para buscar otras opciones para facilitarle al usuario la calibración y manejo del banco de pruebas. La descripción de las pruebas ejecutadas se revisará a detalle en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO V PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACION PARA LOS BANCOS DE PRUEBAS DE SELLADO TÉRMICO Y DE PRUEBA DE TENSIÓN.

### 5.1. PRUEBAS PARA BANCO DE SELLADO TÉRMICO.

El concluir un trabajo desde el punto de vista de una perspectiva profesional requiere de presentar las pruebas suficientes para dar a conocer cómo se está validando un proyecto por ende en este caso se presentaran una serie de apartados que contrasten la finalidad del proyecto con todo lo aprendido retomando desde la perspectiva de construcción de un juicio ingenieril hasta como cada una de las vivencias durante la realización de dicho proyecto impactan dentro del mismo en relación a la toma de decisiones. Dicho lo anterior en este apartado presentaremos cuales fueron los alcances reales del trabajo, cuáles fueron los inconvenientes, porqué existieron dichos inconvenientes, cómo es que se resolvieron los inconvenientes, que es lo que académicamente se abstraigo de este trabajo y lo que parece un gran punto de vista desde una mirada filosófica de la ingeniería. ¿Qué es lo que como ingenieros podemos, decidimos y queremos gritarle al mundo en relación a este proyecto?

Desde un punto de vista de formalidad para lo que es el capítulo final de este trabajo abordado desde el diseño de banco de pruebas de sellado térmico, se presentaran cinco apartados, abordándolos de forma cronológica y en función de su importancia dentro del desarrollo de este proyecto ya que desde un punto de vista objetivo es posible abordarlos de distinta manera, o inclusive presentar otros temas de igual relevancia para la validación de las pruebas y del banco de sellado térmico en general.

En este caso se hace hincapié en el fenómeno de transferencia de calor como antecedente dentro de las simulaciones, pues como se mencionó a lo largo del capítulo de antecedentes el proceso de sellado térmico es un proceso complejo pese a que las variables más relevantes dentro del mismo proceso son solo tres, tiempo, presión y temperatura. Y en el caso de este trabajo el banco de pruebas de

sellado térmico fue presentado con un fin relevante el cual era la producción de probetas estandarizadas bajo la norma (ASTM F88, 2007) y la resolución del problema inicial el cual era la calibración de maquinaria industrial para sellado térmico por lo cual se buscaron la fabricación de probetas de tipo “Peel Seal” y tipo “Tear Seal”, las cuales pueden ser obtenidas bajo ciertos rangos de presión, tiempo y temperatura. El diseño de la mordaza de sellado y el disipador de calor representan la pieza fundamental para la obtención de dichas probetas y en el tema de transferencia de calor es mucho más relevante presentar una simulación que valide el funcionamiento del banco de pruebas pues dentro de la literatura y de los antecedentes presentado, la temperatura en la superficie de las mordazas de sellado sea lo más uniforme posible para asegurar la adhesión de las capas. Al presentar una geometría convencional y una resistencia tipo cartucho con especificaciones de temperatura uniforme de calentamiento se prevé que se tendrá una temperatura uniforme, pero al tener canales de disipación de calor una de las piezas fundamentales se busca ver cuál es la repercusión de dicho diseño y validar el funcionamiento.

Retomando las líneas anteriores, la validación del banco de pruebas de sellado térmico desde la perspectiva del fenómeno de transferencia de calor no solo debe ser un elemento llevado a la simulación, sino presentar un cotejo del comportamiento con la vida real, por ello se pretende realizar la presentación del fenómeno de transferencia de calor mediante imágenes termografías del banco de pruebas en pleno funcionamiento y a partir de ello dar un juicio crítico de funcionamiento y validación.

Continuando con la etapa final, se presentará lo que es la producción de probetas con el banco de sellado térmico además de ver su posible evaluación para un trabajo versátil en dicho campo de la investigación. Pues al tener como necesidad de diseño la capacidad de intercambiar mordazas se da la posibilidad a que exista una aplicación más de los bancos de pruebas de sellado térmico a otros sectores de sellado de distintos materiales.

Y finalmente se presentaran un par de temas que son de importancia en el desarrollo de este trabajo, un banco de sellado basado en el diseño conceptual y diseño a detalle de este trabajo para así contrastar algunas cosas y concluir con una mirada enfocada a la prospectiva, pues para ser competentes en el área de desarrollo de tecnología al saber cuáles son las bases y precedentes para a partir de ello dictaminar cuales son pueden ser los futuros trabajos relacionados con el desarrollo de este y como este trabajo puede darle un sostén a dichos trabajos a futuro.

### 5.1.1. SIMULACIONES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA VALIDACIÓN DE DISEÑO DEL BANCO DE SELLADO TÉRMICO DESDE UN ENFOQUE DE CAE.

En la actualidad una gran cantidad de industrias de diversos tipos requieren métodos de validación de diseño mucho antes de implementar la fase de producción y esto se debe a la capacidad de generar una reducción de costos provenientes por fallos en el diseño, otra manera más clara de explicar lo anterior es, desde el punto de vista de un componente que requiere una producción de millones de réplicas similares, si éste entrase a la fase de producción y a la mitad o en cualquier fase de la producción dicho componente se le realizan pruebas, y ante una o varias de ellas la pieza sufre de algún desgaste o fallo, por lo que realizar una iteración de diseño a dicha pieza. Lo anterior implica mucho tiempo y recursos extrapolando en pérdidas, así como adaptar nuevamente la línea de producción, para ello en las últimas décadas se ha optado por el análisis computacional mejor conocido como Ingeniería Asistida por Computadora CAE por sus siglas en Inglés (Computer Aided Engineering por sus siglas en Inglés).

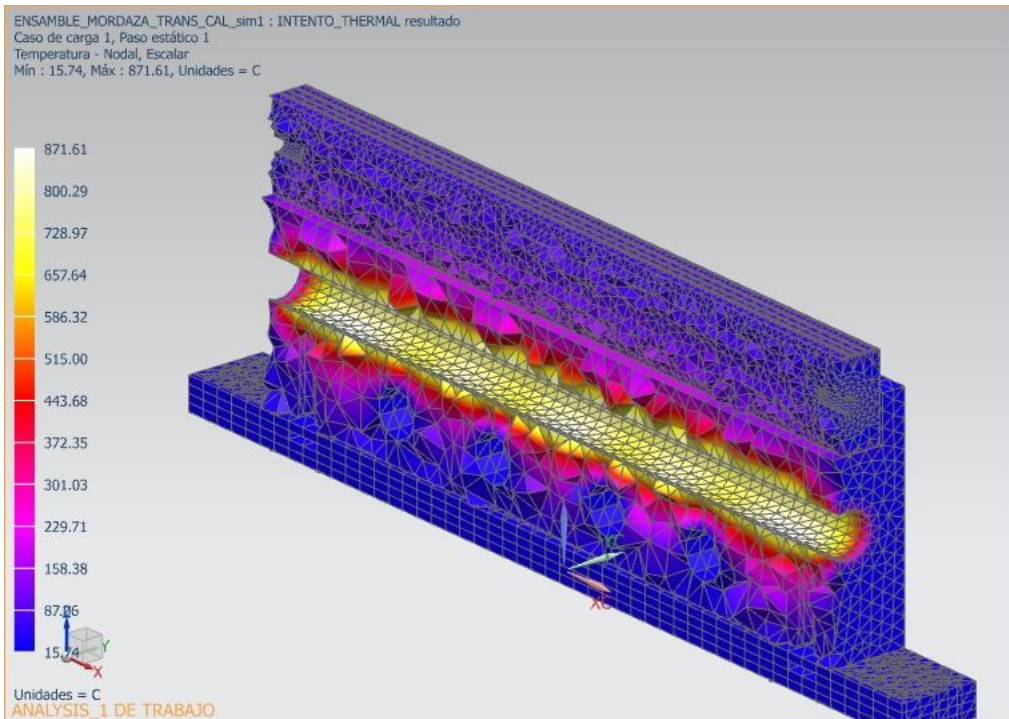
Las herramientas de CAE son diversas abarcando desde análisis de esfuerzos y deformaciones, eléctricos, térmicos, vibratorios y demás. Todos y cada uno de los antes ya mencionados se encuentran en un proceso de desarrollo continuo y dependen de muchos factores los cuales en su mayoría dependen de las bases del método de análisis por elementos finitos el cual de forma general realiza particiones finitas de un elemento geométrico complejo por medio de una malla y a cada uno de estos les asigna propiedades mecánicas y físicas del material mediante un ensamble tomando en cuenta las condiciones iniciales y asignando condiciones de frontera para cada elemento, dicho lo anterior los resultados de un análisis tienden a reflejar como se extrapola del mundo real el fenómeno simulado hacia el entorno virtual de la simulación para prever un comportamiento haciendo uso del criterio ingenieril para con ello dar una secuencia lógica de lo obtenido por ende uno de los factores que mejora la calidad de los resultados de la simulación es el refinamiento



de malla en la geometría simulada más no toda la geometría, puesto que se perdería tiempo y recursos computacionales solo se recomienda realizar el refinado en aquellos puntos críticos de la geometría además realizar simplificaciones prudentes y correctas lo cual se conoce como limpieza de geometría.

Con todo lo expuesto anteriormente las cifras de exactitud en la predicción del fenómeno aún son muy bajas teniendo hasta un treinta por ciento de error en la solución respecto a una prueba física de comportamiento por ende se requieren de métodos de análisis, lo cual a un nivel industrial se refleja como áreas completamente dedicadas a la validación de métodos de CAE (validación de métodos para la realización de simulaciones), además de ello es una tendencia en la industria optar por realización simulaciones para minimizar costos de producción y con el tiempo tener prioridad sobre los ensayos o pruebas de validación.

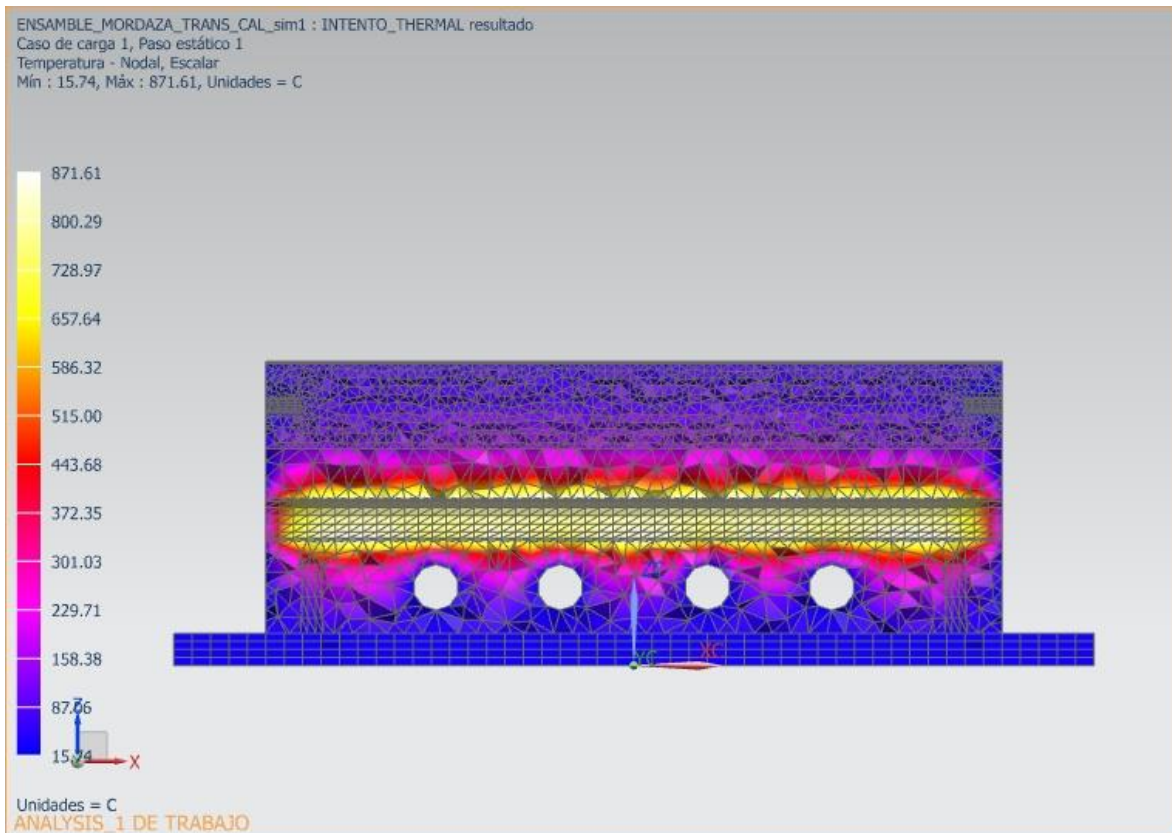
Para el caso del bancos de prueba de sellado térmico como se mencionó al inicio del capítulo fue necesario la implementación de una simulación en FEM (Finite Element Method) mediante el modulo CAE de MSC (Nastran® de NX® version 10), para la realización de una simulación térmica del comportamiento del fenómeno de transferencia de calor en la mordaza y el disipador de dicho banco de pruebas además de ello cabe resaltar que es un elemento de validación de funcionalidad para con ello sentar las bases de lo que sería una iteración más hacia dicho diseño. Para estos fines se presentarán y discutirán cuatro resultados importantes los cuales son, distribución de temperatura en la geometría, gradiente de temperatura, flujo conductivo y flujo convectivo dando una interpretación ingenieril de cada uno de los resultados presentados.



*Imagen 30. Resultado de distribución de temperatura en la mordaza mediante un corte longitudinal de la misma en una vista isométrica*

En la Imagen 30 se presenta el resultado de la distribución de temperatura en ensamble completo. Cabe señalar que se realizaron los refinamientos correspondientes en el barreno que aloja la resistencia, en los barrenos de disipación y en la mordaza para lograr un mejor resultado de dicha simulación, como es posible observar se tiene un máximo de 781°C lo cual acorde con nuestro material este causaría fusión en el mismo, esta simulación se realizó para un estado estable siendo que el sistema del mismo banco se encuentra en un continuo cambio debido al controlador de temperatura lo cual desde un punto de vista ingenieril podría verse como pulsos enviados desde el controlador para que la resistencia trabaje con esa potencia apelando a la inercia térmica del material por lo cual dicha simulación nos ayuda a ver cómo es que se realiza la distribución de la temperatura ante dicha potencia y tener un punto de vista del fenómeno antes de desechar algún resultado, y así reflexionar su significado, para describir el comportamiento del

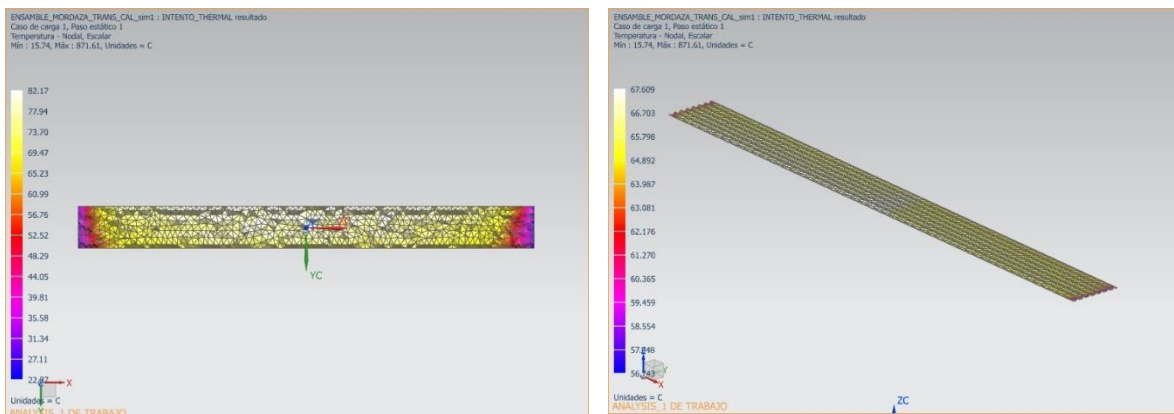
fenómeno de una forma más detallada se tomara el mismo corte realizado desde otra vista para establecer un criterio de validación acorde a los resultados.



*Imagen 31. Resultado de distribución de temperatura en la mordaza mediante un corte longitudinal de la misma en una vista frontal.*

La distribución y transición del color en esta vista de la simulación (ver Imagen 31) es muy clara además que es posible observar como dicha distribución parte desde la resistencia de una forma muy uniforme hacia la mordaza y aunque también el flujo de calor se realiza de una manera mayor hacia los barrenos de disipación éste se encuentra con la barrera térmica de los elementos aislantes, los cuales son la base de dicho ensamble y como se puede ver existe una menor distribución de temperatura en la base, lo cual ocurre de manera inversa en la mordaza la cual se simulo como un acoplamiento térmico del mismo material manteniendo con ello temperaturas entre 158°C y 87°C como se observa en dicho corte de geometría, ya que esto no sucede en la superficie de disipación con convección al ambiente, puesto que existe un fenómeno diferente.

Para concluir esta etapa de validación de distribución de temperatura en la mordaza y el disipador se trató desde el principio una distribución de temperatura hacia el área de la mordaza debido a que la tarea principal de dichas piezas es la conducción de calor justo al área de sellado y aunque el modelo muestra pérdidas relevantes de energía la función principal de distribución de temperaturas queda hasta cierto punto validado pues parece no existir un inconveniente en cuanto a la distribución. Aunque se presenta una distribución poco homogénea teniendo regiones con distintas distribuciones dando a conocer parámetros de rediseño geométrico de dichas piezas el cual requiere de una disminución sustancial del material este tema de rediseño junto con otros aspectos analizados en estas pruebas serán discutidos en el apartado de trabajo a futuro para con ello continuar o dejar las bases de lo que es el diseño de un banco de pruebas de sellado térmico.



*Imagen 32 - A). Resultado de distribución de temperatura en la mordaza mediante un corte longitudinal de la misma en una vista frontal. Imagen 31-B). Simulación de Contacto en cara de mordaza, mediante una superficie de grosor de .3mm con propiedades mecánicas y térmicas del aluminio para asemejar más el comportamiento en la superficie de contacto durante el proceso de sellado*

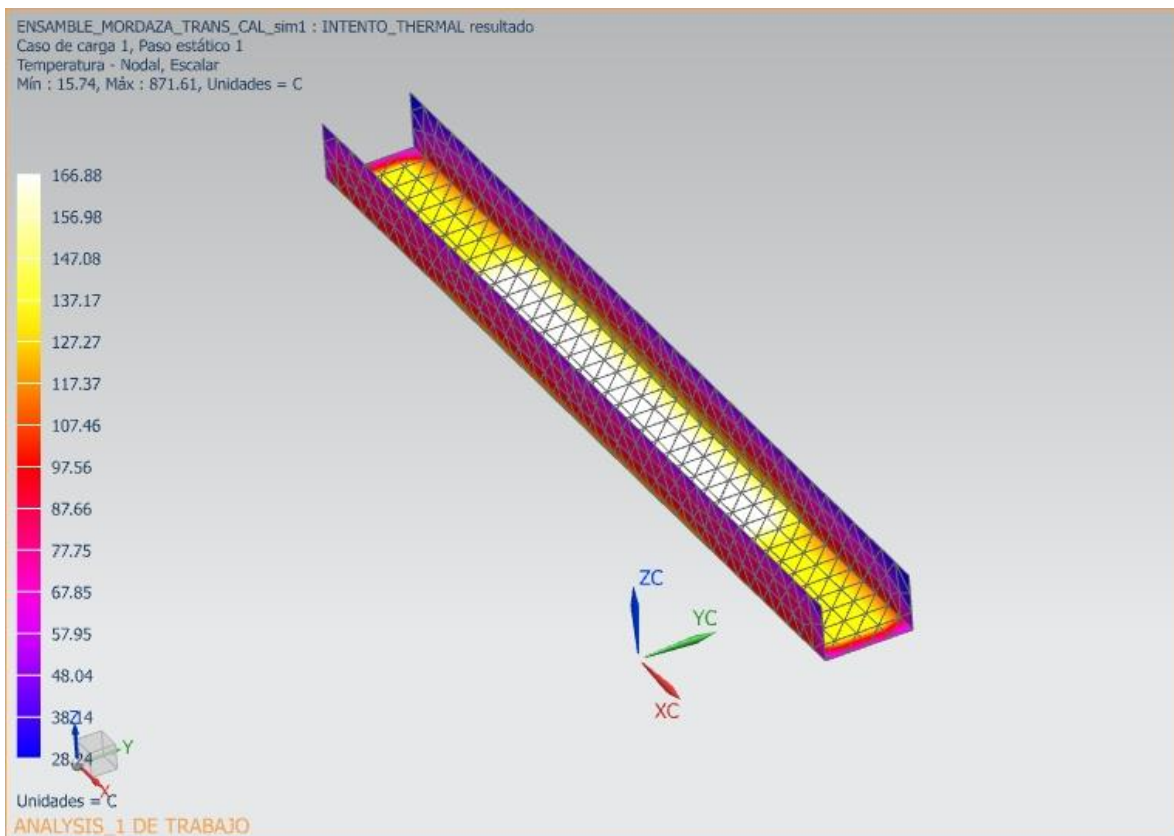
En el caso de las imágenes 32-A y 32-B se presentan como parte de un mismo análisis y discusión de resultados debido a que corresponden a una de las partes importantes y objetivos de diseño del banco de pruebas de sellado térmico, pues desde un comienzo el parámetro de control durante el diseño del banco de pruebas era obtener probetas selladas con un temperatura uniforme en la superficie de

sellado, dicho lo anterior el reflejo de este resultado es ver cuál es el comportamiento de dicha mordaza y saber si esta cumple con mantener una distribución de temperatura uniforme en la superficie de contacto.

En el caso de la Imagen 32-A se puede observar una distribución homogénea de temperatura el centro de la mordaza la cual tiene un rango de variación de  $8.47^{\circ}\text{C}$  el cual va de  $69.47^{\circ}\text{C}$  hasta  $77.94^{\circ}\text{C}$ , que asegura la calidad de las probetas selladas que se ubiquen al centro de la mordaza tendrán un mejor comportamiento, esta Imagen proviene de un corte de sección en la mordaza por lo cual las áreas laterales que presentan caída de temperatura drástica no coincidieran con lo presentado en la Imagen 32-B que es una simulación del proceso de sellado mediante un acoplamiento térmico entre la mordaza y una probeta sellada en la cual vemos que las áreas laterales en las cuales hay una caída drástica de temperatura son mínimas en comparación con la anterior de la figura 32-A.

En ambas imágenes podemos destacar fenómenos distintos debido a que en la Imagen 32-A, las regiones de caída de temperatura están ligadas a la disipación por convección con el ambiente y estas al estar presente una fuente de menor temperatura, tiene una caída que es mayor y se refleja en los  $8.47^{\circ}\text{C}$ . Por otra parte el fenómeno simulado en la figura 32-B es un acoplamiento térmico entre dos superficies del mismo material, teniendo como resultado una superficie en la cual el calor fluye de manera homogénea con un rango de variación de  $1.811^{\circ}\text{C}$ , por consiguiente se puede llegar a la conclusión que el área de sellado es mayor a un 95% contrario a lo que la Imagen 32-A muestra, dando por validado el diseño desde un punto de vista de transferencia de calor y simulación, existe un error inherente al método de solución de elementos finitos, por lo cual al contrastar esta solución con las pruebas físicas de cámara termografía teniendo en cuenta que existe una gran probabilidad de obtener un comportamiento similar, pero viendo el fenómeno con objetividad y con un criterio ingenieril basado en lo observado en maquinaria industrial robusta se deposita confianza amplia en que la superficie de sellado térmico en la superficie de la mordaza tendrá una distribución de temperatura homogénea generando así probetas de sello confiable.

Los últimos elementos de distribución de temperatura se tomaran a discusión lo que sucede en los contactos térmicos en cada etapa del sistema de sellado diseñado. Como parte de una de las restricciones principales en cuanto al banco de sellado térmico se tiene temperatura a la cual puede trabajar adecuadamente los empaques del cilindro neumático, no deben exceder los 150°C, en consecuencia el flujo de calor a la parte del cilindro neumático es crucial y es importante saber cómo se comporta el flujo de calor tanto en la base aislante así como en el contacto DISIPADOR-MORDAZA.



*Imagen 33. Resultado de distribución de temperatura en el contacto DISIPADOR-MORDAZA mediante un acoplamiento térmico entre dos superficies del mismo material en una vista isométrica*

Para comenzar el análisis de los contactos térmicos en cada etapa del sistema de sellado es prudente ver cuál es la distribución de temperatura entre el DISIPADOR y la MORDAZA debido a que estos dos elementos juegan un papel importante ya que gracias a este tipo de disposición es posible tener un intercambio de mordazas

de sellado y con ello distintas geometrías para distintas aplicaciones. En el caso de la Imagen 33 es posible ver que la distribución de la temperatura tiene un rango muy grande de variación en el centro el cual es de  $39.61^{\circ}\text{C}$  y va desde  $127.27^{\circ}\text{C}$  hasta  $166.88^{\circ}\text{C}$  con caídas de temperatura drásticas debidas a la disipación por convección al ambiente lo anterior genera una controversia en el diseño puesto que se esperaba una superficie más homogénea en cuanto a la distribución de temperatura como es el caso de la Imagen 32-B, pero como en el caso anterior al mencionar cuales son los fenómenos térmicos que engloban esta superficie los cuales son una combinación de acoplamiento térmico y disipación de energía debida a la convección al ambiente, siendo el segundo lo que afecta directamente a dicha superficie puesto que se tiene un foco de baja temperatura rodeando la superficie afectando directamente al calor que fluye por dicha superficie provocando una caída drástica de  $39.61^{\circ}\text{C}$  justo en los laterales como se había presentado con anterioridad.

Como parte de la discusión de resultados en cuanto a distribución de temperatura en las superficies se refiere al mencionar cómo se comporta dicha distribución en las superficies aislantes de la base con respecto a los resultados obtenidos y si bien es importante tener en cuenta que el flujo de calor hacia los barrenos de disipación fue considerable, también el tomar en cuenta dicha distribución para poder asegurar que el cilindro neumático no sufra daños durante la realización de la acción del proceso de sellado.

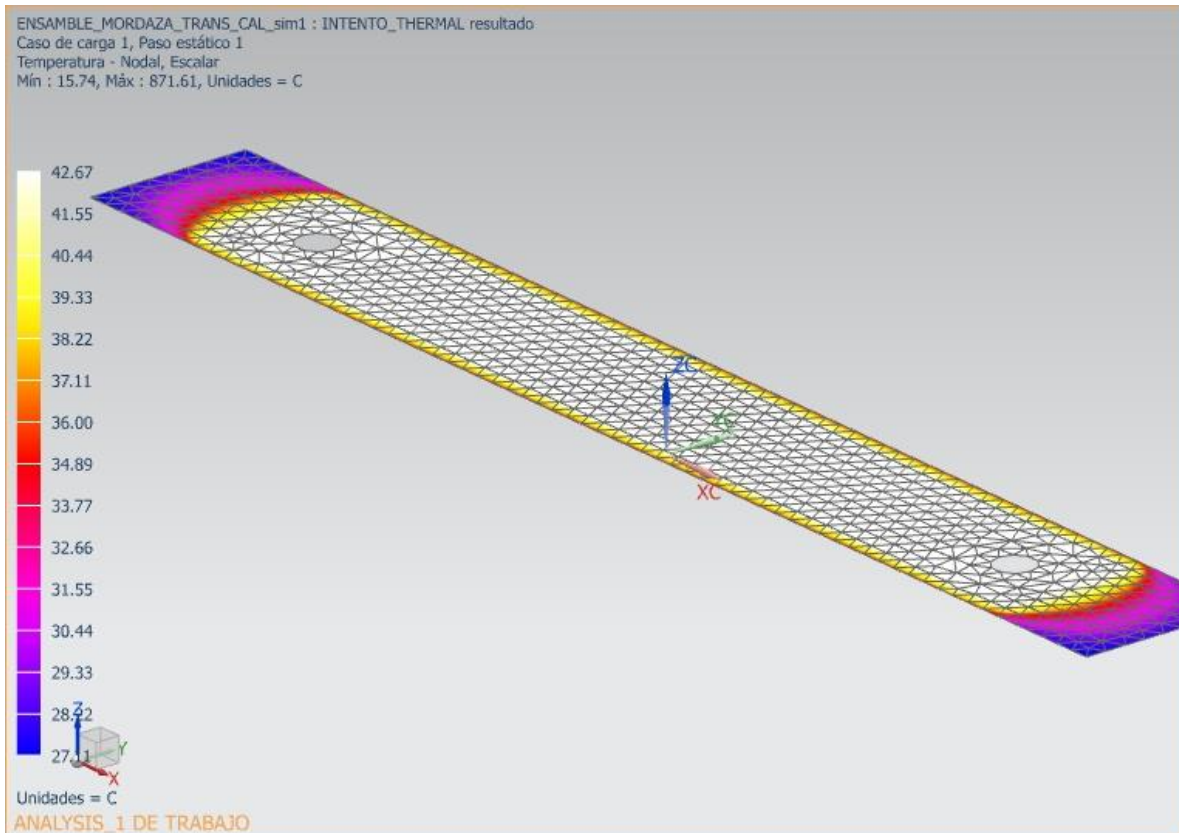


Imagen 34. Resultado de distribución de temperatura en el contacto DISIPADOR-BASE AISLANTE mediante un acoplamiento térmico entre dos superficies de distinto material en este caso es madera como aislante y el aluminio del disipador en una vista isométrica.

En el caso de la distribución de temperatura en la base del sistema de sellado térmico tenemos un importante baja de medición de temperatura lo cual refleja el funcionamiento de los barrenos de disipación ya que estos logran de primera instancia la función por la cual fueron discutidos en el diseño a detalle y a grandes rasgos como se observa en la Imagen 34 una distribución de temperatura que ronda de los 38.22°C hasta 42.67°C siendo considerablemente baja. Para el funcionamiento correcto del cilindro neumático, el aislante térmico en este punto independientemente de restringir el flujo de calor hacia las partes móviles del banco de pruebas también funge como un concentrador de calor representando una alerta a considerar durante el funcionamiento del banco de pruebas de sellado térmico, debido a que en un caso crítico la temperatura de la resistencia se elevara debido a un fallo del sensor, esta capa aislante podría llegar a sufrir daños térmicos y como



parte de una solución previa, la discusión de un material tipo cerámico para el aislante además de lo que sería una posibilidad de arreglo distinto de los elementos de dicho sistema para obtener un flujo refrigerante que disipe el calor que afecta directamente al vástago del cilindro neumático.

Para finalizar la discusión de resultados desde el punto de distribución de temperatura, tenemos que en la superficie de contacto final previa a la PIEZA H, el resultado de la distribución de la temperatura es de una variación de  $.01^{\circ}\text{C}$  manteniendo una homogeneidad de  $28^{\circ}\text{C}$ , lo cual brinda la primera pauta a mencionar que el banco de pruebas de sellado térmico cumple una primera etapa de pruebas, resultado de la discusión de distribución de temperatura sobre el análisis realizado a dichas piezas para poder dar mayor peso a esta validación se continuara con la discusión de otros resultados obtenidos de dicha simulación.

Para dar más fiabilidad a la validación de pruebas mediante simulación se continuará con una discusión enfocada al comportamiento del gradiente de temperatura desde algunos puntos de vista críticos.

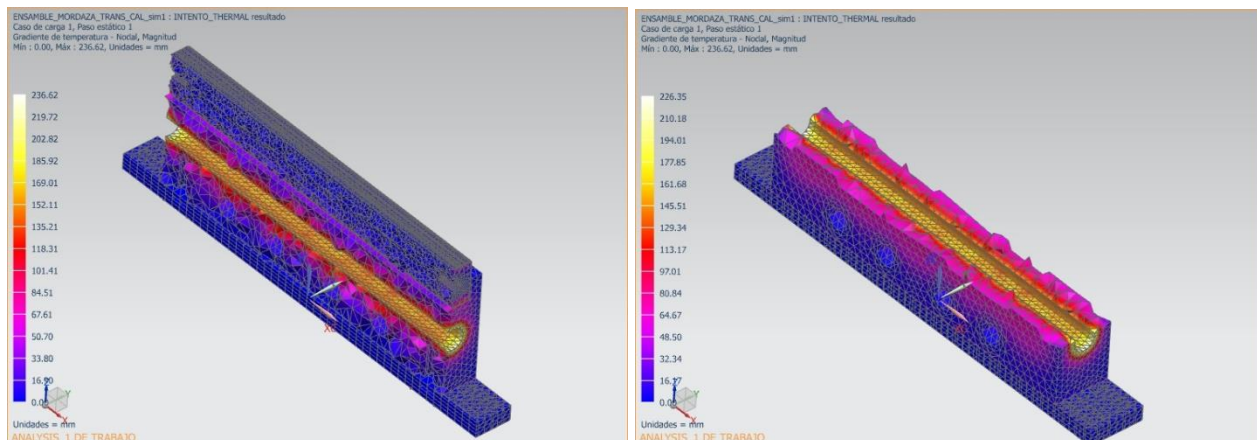
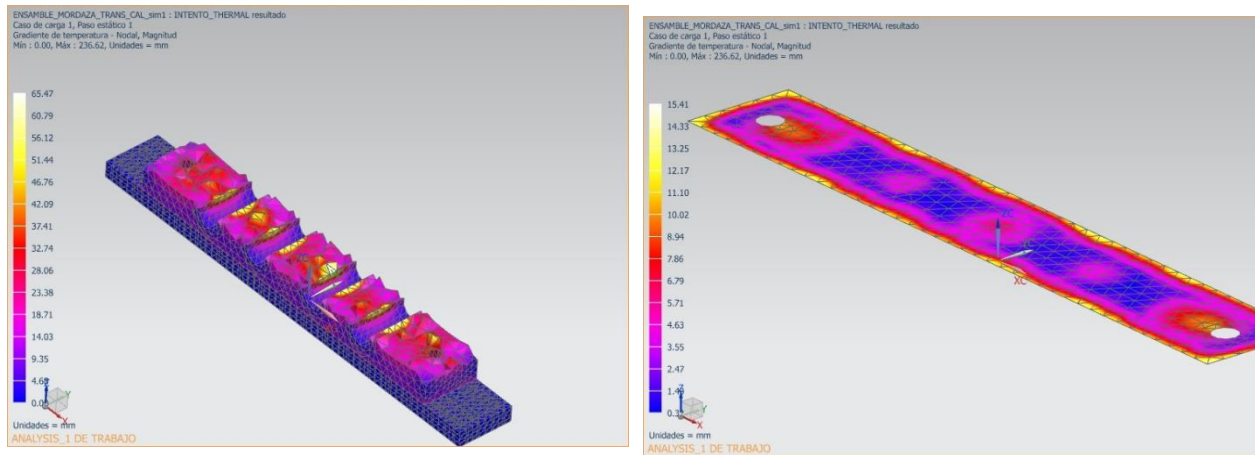


Imagen 35A). *Gradiente de temperatura en el ensamble completo de sistema de sellado térmico mediante un corte longitudinal a lo largo del barreno tipo cartucho en una vista isométrica.*  
Imagen 35-B ). *Gradiente de temperatura en el ensamble completo del sistema de sellado térmico mediante un corte transversal ubicado en el barreno de resistencia tipo cartucho.*

Para comenzar con la discusión de resultados relacionada al gradiente de temperatura que representa la variación de temperatura por unidad de distancia, por consiguiente existirá el fenómeno de transferencia de calor desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura, mencionado lo anterior las Imágenes 35-A y 35-B cuentan con información relevante para trabajos a futuro y posibles iteraciones en las cuales el gradiente aumente en la zona de la mordaza de sellado que como se observa en la Imagen 35-A, el gradiente en dicha zona es muy pobre, provoca un calentamiento más lento del sistema completo, independientemente lo antes mencionado gran parte del calor generado es desperdiciado como se observa en la Imagen 35-B, donde se mantiene un gradiente uniforme de 64.67mm a 80.84mm hacia la pared de la pieza, por consiguiente este diseño de disipador le brinda la posibilidad al calor de disiparse mucha mayor facilidad por las paredes de dicha pieza, que fluir hacia la mordaza.

Dicho lo anterior una solución ante este comportamiento no anticipado, sería generar una mordaza con paredes más gruesas para de esta manera generar una barrera ante el fenómeno de disipación a su vez analizar con mayor cuidado un nuevo punto de barreno para la resistencia, de esta manera aprovechar el gradiente de temperatura en sus valores más uniformes, teniendo en cuenta los resultados de esfuerzo deformación del capítulo anterior.

Otra de las zonas de análisis de comportamiento del gradiente de temperatura es en los barrenos de disipación pues como se presentó en la discusión anterior, existía una distribución de calor de gran peso hacia estos barrenos, una caída de temperatura al llegar al contacto con el aislante, por ende se espera un gradiente alto en esta zona que apunte hacia las áreas de disipación.



*Imagen 36- A). Resultado de gradiente de temperatura los barrenos de disipación en la pieza DISIPADOR mediante una vista de corte transversal isométrica. Imagen 36-B). Efecto directo de los barrenos sobre el gradiente de temperatura que se presenta en la superficie de contacto entre el DISIPADOR y el aislante térmico de la base de sujeción*

Como se anticipó en la zona de los barrenos existe un gradiente de temperatura ligado a la transferencia de calor con el ambiente y el flujo de aire por cada uno de estos pues en este caso el aire realiza la función de un fluido refrigerante, además de ello es posible ver que las zonas en las cuales el gradiente de temperatura es mayor es justo en las paredes de dichos barrenos adicionalmente del intercambio de temperatura entre las paredes (Ver Imagen 36-.A) y el ambiente que es menor que el de los barrenos, en consecuencia el comportamiento de estos se ubica dentro de lo diseñado, por otro lado es relevante observar el efecto directo de este tipo de disposición de barrenos sobre la superficie de contacto entre el DISIPADOR y el aislante térmico de la base (Ver Imagen 36-B)

En el caso de la superficie de contacto entre el DISIPADOR y la base aislante se presenta un fenómeno interesante de analizar y traer a este trabajo como parte de un elemento de validación de diseño pues incrementa la fiabilidad del uso de una serie de barrenos de disipación para evitar el flujo de calor hacia el embolo del cilindro neumático protegiéndolo de un desgaste prematuro, además de ello en la Imagen se puede ver claramente un patrón de cuatro manchas de bajo nivel de gradiente de temperatura lo cual recordando lo descrito a un principio de la discusión de resultados de gradiente de temperatura tiene relación directa a una tasa muy baja de transferencia de calor con lo que se puede concluir que ante un trabajo a

futuro el uso de disipadores genera un mayor cuidado del cilindro neumático y, si se tiene un sistema de disipación de calor que afecte a los componentes, una mayor capacidad de calor el sistema de sellado térmico podría operar durante mayor tiempo, el tiempo de precalentamiento del mismo será mucho mayor, lo cual es interesante mencionar debido a la optimización de energía.

Para cerrar la discusión de resultados ligada a los gradientes de temperatura es importante obtener una visión de las modificaciones a futuro, teniendo en consideración el comportamiento del gradiente de temperatura en la superficie el cual se encuentra ligado a la disipación con el ambiente, por ello cuando el análisis se solucionó, se plantearon distintas capas de malla 2D (tipo "SHELL") de un espesor de .03mm para simular el contacto entre la geometría 3D y el ambiente, asignando las propiedades correspondientes a cada malla según fuese el caso de donde se ubicaran como se muestra en la Imagen 37.

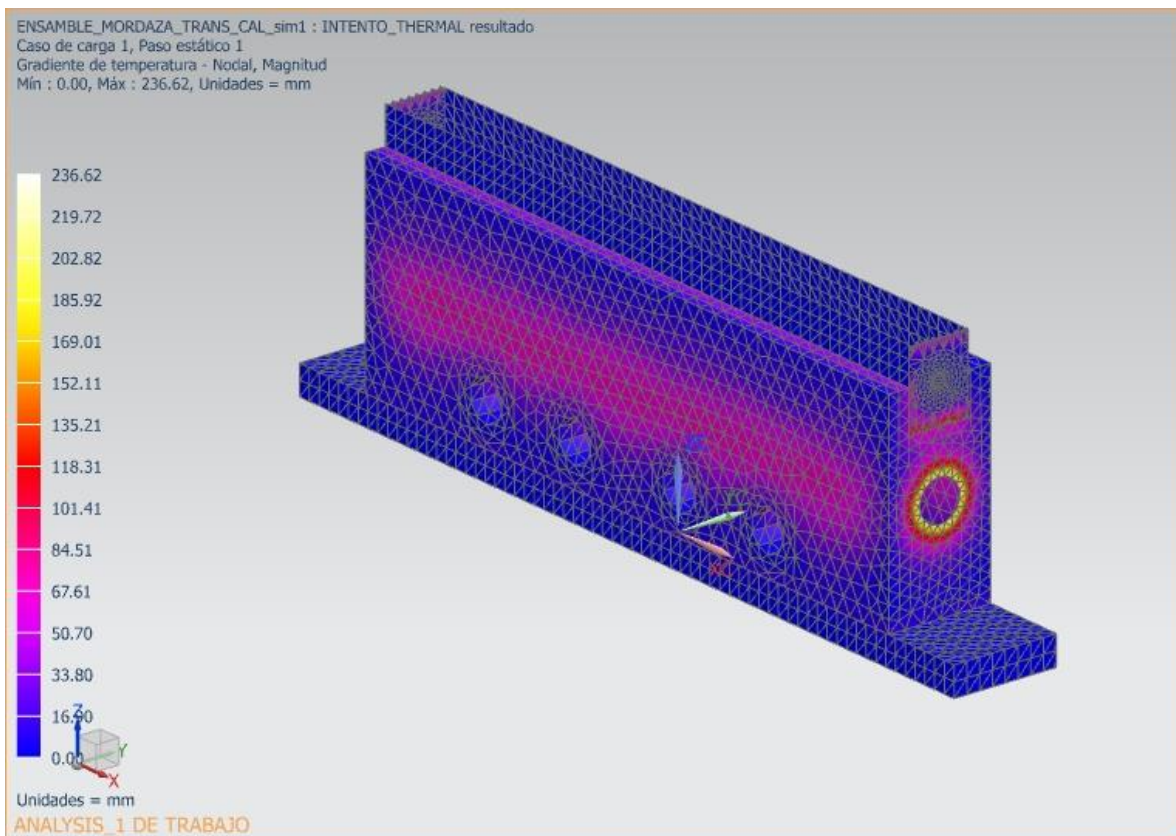
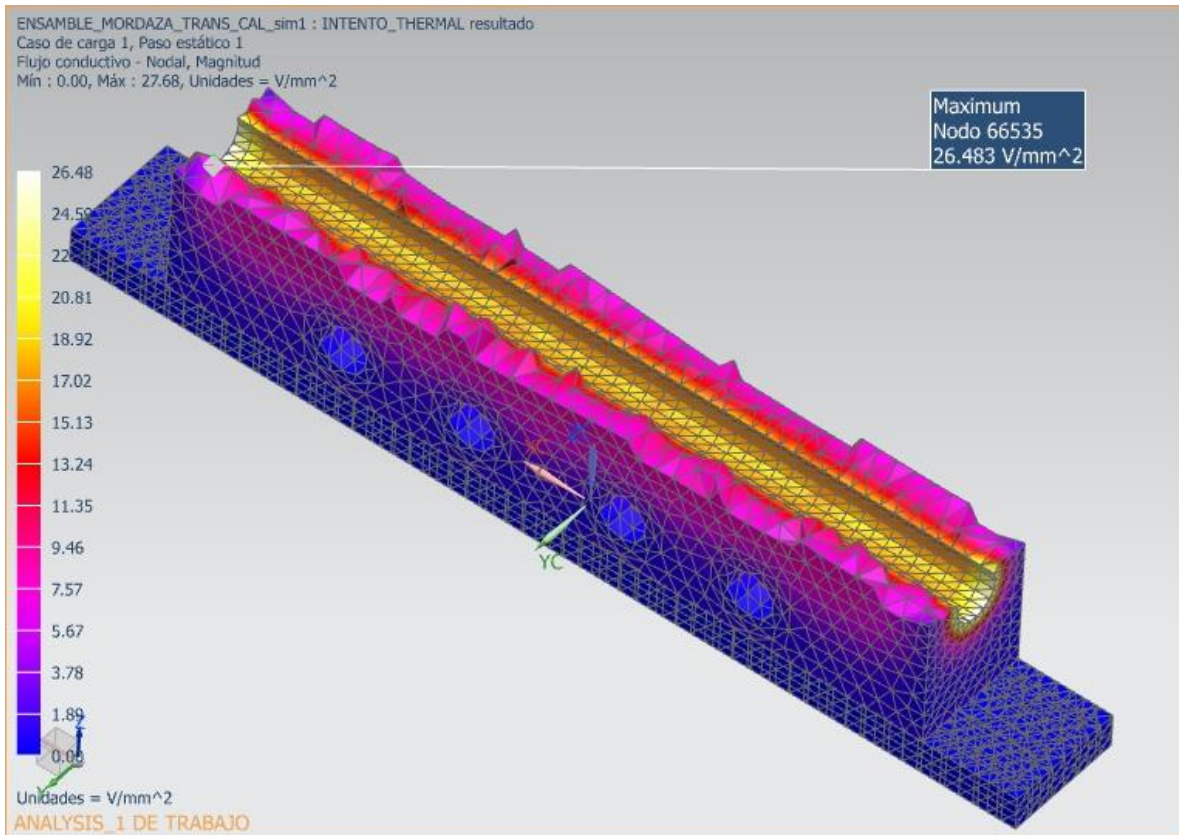


Imagen 37. Resultado de gradiente de temperatura en una malla tipo cascara de .3mm de espesor que rodea completamente al sistema de sellado térmico en una vista isométrica

En cuanto a esta Imagen (ver Imagen 36), se plantea cuáles serían las posibles correcciones para una iteración en la cual se optimice el aprovechamiento de la energía térmica producida por la resistencia tipo cartucho, pues como es posible observar existe el gradiente muy concentrado en el barreno de la resistencia, por lo cual para evitar que toda esta transferencia de calor desperdiciada al ambiente debida a este gradiente de temperatura, lo más recomendable sería cambiar la geometría del disipador para que este tenga la mordaza de sellado mucho más cerca del disipador a la altura donde se produce el gradiente térmico, este sistema de sujeción de mordaza tendría que cambiar, con la finalidad de aplanar todo el sistema para que la disipación por las paredes de la geometría sea menor que la que se muestra en este resultado.

Para continuar con el desarrollo de los resultados se presentaran los resultados de flujo conductivo, para analizar cuan eficiente es la geometría a partir del diseño propuesto y a su vez plantear posibles soluciones de cambio o iteración a trabajos a futuro, por ello estas pruebas de simulación tienen la finalidad de validar el comportamiento pero teniendo en cuenta las mejoras de mismo sistema generando ingeniería de un proceso iterativo el cual por razones completamente ligadas a tiempo y financiamiento, no se implementa por parte del banco de pruebas de sellado térmico.



*Imagen 38. Resultado del flujo conductivo en el ensamblaje completo del sistema mediante un transversal hecho en el barro de la resistencia con vista isométrica.*

Para comenzar este apartado basta con mencionar que era predecible el comportamiento mostrado en la Imagen 37 mediante dicho corte, debido a que la distribución de temperatura y el gradiente de la misma mostraban resultados similares, esta Imagen es mostrada por una razón comparativa, ya que como en las imágenes previas se veía la mayor concentración a lo largo del barrenado de la resistencia, el flujo conductivo en esta zona es similar a lo ya antes mencionado, razón por lo que se abordara en las siguientes líneas, la eficiencia de flujo conductivo teniendo como un máximo  $26.48 \frac{V}{m^2}$  pasa así saber qué porcentaje de flujo es el que se ha perdido en el sistema. Además, esta Imagen muestra a su vez el mismo comportamiento de disipación al ambiente con una alta tasa de flujo. Antes de ello se aclara que el flujo de calor por la resistencia se modelo como una carga

homogénea, puesto que uno de los parámetros de la misma lo mencionaba, para poder refinar el método de solución sería necesario hacer una prueba de calentamiento de la misma con la finalidad de obtener la forma de comportamiento y así plantear un campo de calentamiento en función de dicha prueba de calentamiento.

Como parte de la comparación comenzaremos con la parte más importante es la eficiencia del contacto entre el *DISIPADOR* y la *MORDAZA*, por ello se plantea la siguiente Imagen.

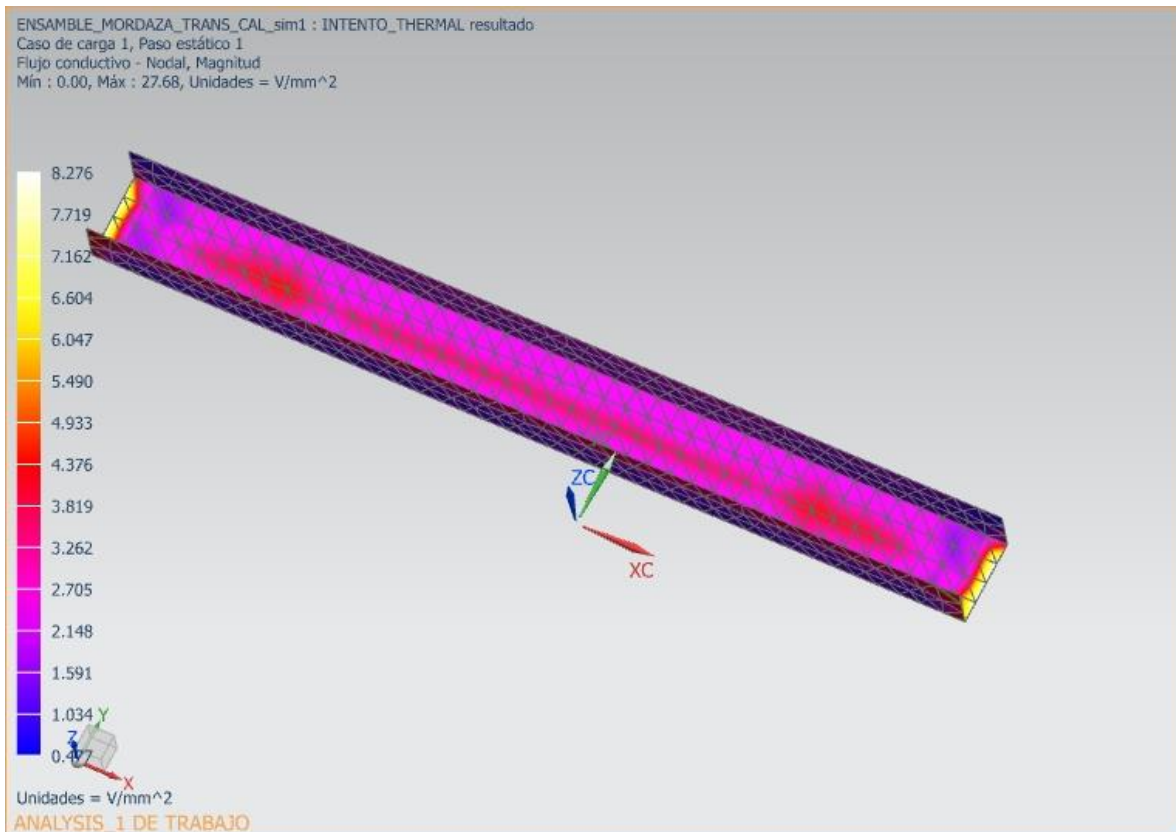
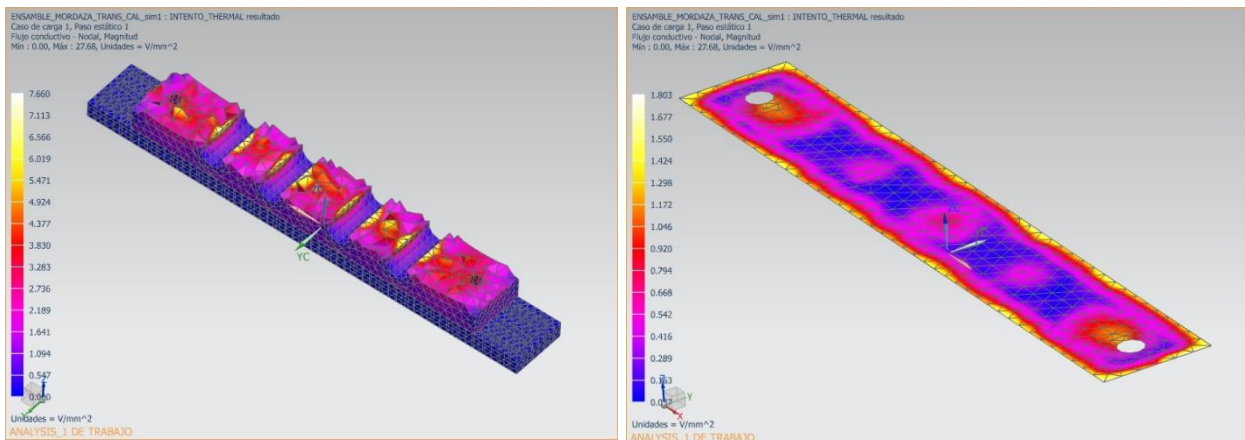


Imagen 39. Resultado del flujo conductivo en la superficie de contacto entre el *DISIPADOR* y la *MORDAZA* con vista isométrica.

En la Imagen 39 a pesar de que solo exista un 13.37% de eficiencia de flujo por milímetro cuadrado en comparación con el flujo máximo de conducción, se muestra un patrón uniforme con el cual es posible obtener los parámetros mínimos

de temperatura como anteriormente se mostró para generar calidad en los sello térmicos de tipo “Peel Seal” in embargo para dar una completa aprobación del funcionamiento se ver que es lo que sucede tanto en la base del aislante como en los barrenos de disipación, de ante mano se prevé un flujo minoritario que este en ambas zonas, si alguno de éstos muestra un mayor flujo de conducción el diseño de la mordaza debe de ser cambiado para trabajos a futuros para así generar una menor perdida energética, en el caso de presentarse un menor flujo conductivo en dichas zonas lo que se requiere será plantear posibles soluciones ante iteraciones futuras, puesto que el sistema está trabajando bajo las premisas de diseño principales desde el punto de vista térmico.

De manera análoga otra de las zonas de análisis es en el corte transversal de los barrenos, presentado por la Imagen 40-A.



*Imagen 40-A.) Resultado del flujo conductivo en el corte trasversal realizado en los barrenos de disipación en una vista isométrica.40-B). Flujo conductivo en la superficie de contacto entre el DISIPADOR y el aislante térmico de la BASE en una vista isométrica.*

En las Imágenes 40-A y 40-B muestran un resultado que cuenta con dos zonas de análisis, las cuales son de mayor concentración de flujo conductivo y están ligados a la disipación por medio de los barrenos y, aunque sean zonas relativamente pequeñas el flujo de calor por conducción que va hacia el ambiente y

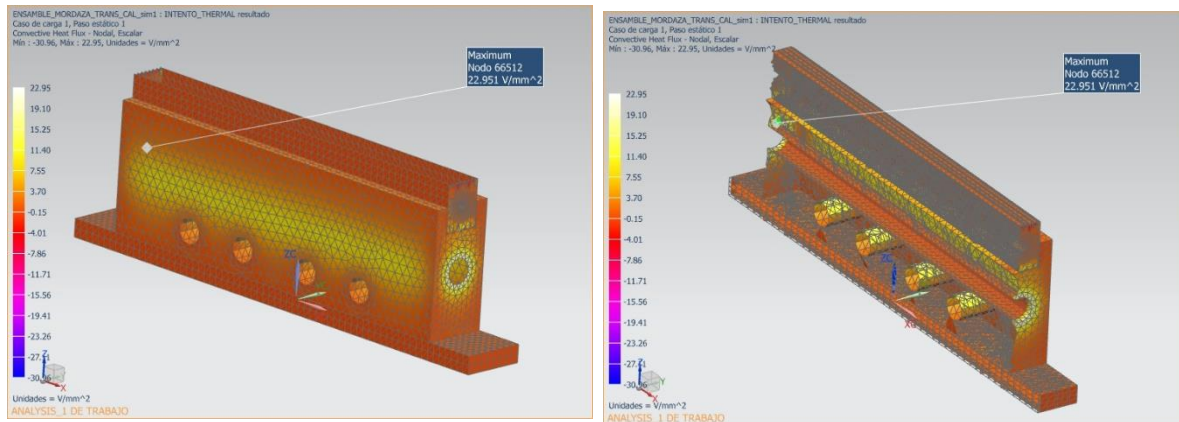


se disipa por convección al ambiente se incrementa y agiliza gracias a dichos barrenos teniendo un porcentaje de 27.89% de eficiencia en flujo conductivo por milímetro cuadrado, el cual en comparación con el flujo conductivo hacia la mordaza en eficiencia es mayor, hay que puntualizar que el 13.37% de flujo conductivo depende de los milímetros cuadrados de dicha superficie por ende sería necesario comparar el flujo conductivo del área de los barrenos de disipación con el área de la superficie de contacto con la mordaza. Pero como parte de una prueba de validación se recalca que dichos barrenos generan una facilidad en el flujo conductivo para la disipación de calor que afectaría directamente los sellos de cilindro neumático.

Antes de pasar la discusión final de resultados en flujo conductivo se analiza el flujo conductivo en las áreas de color morado presentes en la Imagen 40-A, puesto que este es el flujo conductivo que directamente está ligado a la base del sistema, de manera que, debe ser menor en porcentaje de eficiencia que el flujo hacia la mordaza de sellado, por lo cual tomando la escala de colores ubicando el promedio entre  $2.189 \frac{V}{mm^2}$  y  $1.641 \frac{V}{mm^2}$  teniendo un  $1.915 \frac{V}{mm^2}$  se genera un 7.23% de eficiencia de flujo conductivo por milímetro cuadrado, que es menor al obtenido por el contacto entre el *DISIPADOR* y la *MORDAZA*.

Aparentemente el el resultado es muy bajo, por lo cual sería necesario optar por una iteración de diseño del disipador y la mordaza para aumenta el flujo conductivo entre *MORDAZA* y *DISIPADOR*, puesto que estos valores reflejan una eficiencia de diseño muy pobre, por último en cuanto a lo reflejado en el resultado de la Imagen B de aprecia que depende directamente del flujo al vástago del cilindro neumático. Aunque en esta Imagen se tengan regiones de distinto nivel de flujo conductivo el obtenido para la zona color rosas un 2.76% de eficiencia de flujo conductivo por milímetro cuadrado el cual es un número que refleja tanto la capacidad de disipación de calor de la pieza para evitar los daños hacia el cilindro neumático y la validación de un uso prolongado del banco de pruebas sin sufrir inconvenientes debido a un alto flujo de calor hacia las partes móviles. Pese a que este sistema trabaja bajo los parámetros estipulados la optimización de energía

térmica es una de las premisas de trabajos a futuro y de diseño del sistema de sellado, todo lo anterior nos coloca en una cuestión la cual es ¿qué es lo que sucede con el calor suministrado? Y aunque dentro del mundo ingenieril es bien sabido que los sistemas térmicos tienen un gran nivel de generación de entropía una de las pruebas de validación es el determinar cuál es el flujo conectivo al ambiente,



*Imagen 41 -A). Resultado del flujo conectivo en una malla tipo cascara 2-D en el ensamble completo del sistema de sellado térmico en una vista isométrica. 41-B). Corte longitudinal realizado en la malla tipo cascara 2-D para poder ver el nivel de flujo convectivo en los barrenos de disipación en una vista isométrica.*

haciendo posible plantear cuanto calor es desechado al ambiente.

Para finalizar la discusión de resultados realizado por medio de las herramientas de CAE el entender la pregunta que involucra el nivel flujo de calor por convección hacia el ambiente, por ende en el pre-proceso de simulación se optó por la realización de una malla 2-D que funge como una cascara de toda la geometría o el modelo 3-D, como anteriormente había planteado pero lo relevante de este resultado es nuevamente observar el funcionamiento de los barrenos de disipación, que como se observa en la Imagen 36-A sigue manteniéndose entre  $15.25 \frac{V}{mm^2}$  y  $19.1 \frac{V}{mm^2}$  que en comparación con el flujo conductivo es muy grande, obteniendo así un buen nivel de disipación en de energía térmica en esta zona, pero a su vez todo este flujo se convierte en desperdicio de energía, tal como se observa en la Imagen 39-A por ende para tener un menor nivel de energía perdida se plantea una iteración en la cual la geometría tenga un menor volumen generando con ello un

tiempo de precalentamiento menor. Además de menor tiempo en proceso maquinado, teniendo en cuenta un ancho de pared más homogéneo, se presenta una zona con mayor nivel de convección la cual está en color amarillo justo en la zona colindante con el barreno de resistencia.

Por ultimo para concluir el apartado de análisis de resultados térmicos por medio de herramientas de CAE, se deja en claro que el sistema de sellado térmico funciona bajo los parámetros de diseño establecidos en los capítulos tres y cuatro de este trabajo, por consiguiente la prueba de validación concluye en su aprobación de funcionamiento, se aclara que es un conjunto de elementos que tienen una muy baja eficiencia y aprovechamiento de la energía suministrada desde el punto de vista de estos resultados, así en el siguiente apartado se realizará una comparación con resultados físicos por medio de imágenes termográficas.

### 5.1.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL BANCO DE SELLADO TÉRMICO MEDIANTE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS.

El método de validación de un proyecto por medio del uso de pruebas físicas en la actualidad es el más usado y de mayor confiabilidad debido a que el fenómeno al cual se somete cualquier sistema durante una prueba arrojará resultados más cercanos a lo que el sistema potencialmente experimente durante el uso común, en muchas de estas pruebas el sistema se lleva al límite o bien solo el uso común del mismo para ver cuál es su comportamiento con el entorno y de ahí partir para la validación del funcionamiento del mismo, dando comienzo a producción en serie o bien realizar los cambios para que el funcionamiento sea el adecuado. En muchos de los casos o a la par de dichas pruebas físicas se generan análisis de elementos finitos o herramientas de CAE con la finalidad de comprobar y analizar ambos resultados, pues a partir de ello se pueden generar disminuciones de costos por el equipo de instrumentación que se utiliza en pruebas puesto que este tipo de equipo debe de ser de alta precisión.

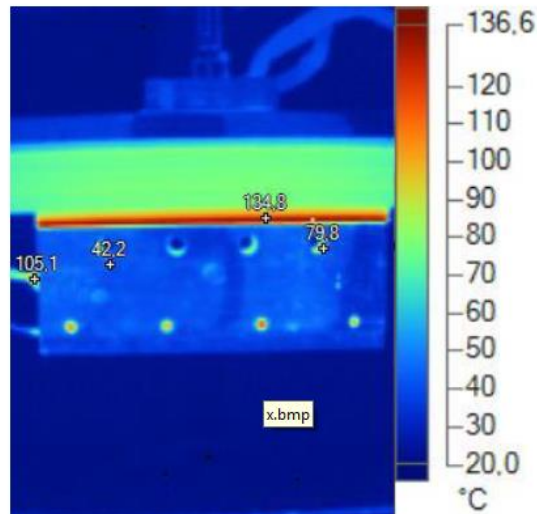
De esta manera es relevante mencionar bajo qué parámetros y tipo equipo se realizaron las pruebas, en el caso de este trabajo no es la excepción por ende se especificarán algunos datos relevantes hechos durante la prueba como lo son los siguientes.

- Uso de cámara termografía de la marca FLUKE, modelo Ti 125 con un tamaño de sensor IR 120X160 .

Las imágenes termografías se tomaron a un metro de distancia del banco de pruebas con el banco de pruebas funcionando con los siguientes parámetros:

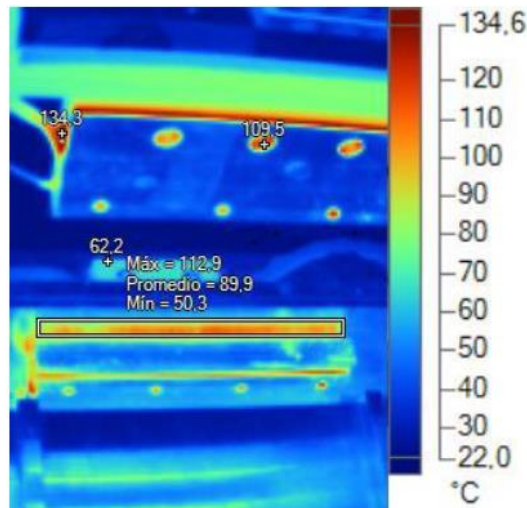
- Temperatura de sellado: 120°C.
- Presión de sellado: 40 Psi
- Temperatura ambiente de 24°C.
- Tiempo de precalentamiento de 30min.

Dicho lo anterior la discusión de resultados tendrá que ser referenciado al documento de reporte ubicado en el anexo 7.6 de este trabajo por ello solo se comentaran como resultado algunas de las imágenes, ya que para ello se requiere un análisis más complejo y profundo en el tema de transferencia de calor.



Fotografía termográfica 1 Vista disipador

La primera de las fotografías termograficas que se abordará es la “*Vista disipador*” (para más información ver el anexo 7.6 ), cómo es posible resaltar en esta Imagen el banco de pruebas ha llegado a un estado estable, en el cual existe un flujo de temperatura por convección al ambiente en esta prueba es de  $42^{\circ}\text{C}$  , de una manera uniforme hacia todo el cuerpo que compone el sistema de sellado térmico, en esta Imagen aparece un fenómeno que ocurre en la base aislante el cual es un almacenamiento de calor, ya que las imágenes se tomaron con 30 min de precalentamiento del banco de pruebas de sellado térmico, en comparación con el resultado de simulación existe un gran parecido donde hay elementos como la PIEZA H que no se tomaron en cuenta para la simulación, por ello la diferencia en cuanto a los resultados, ya que a primera vista es impresionante el nivel de temperatura de este elemento aunque es lógico dicho comportamiento debido a que está fabricado como un ensamble de perfiles  $20\text{mm}\times 20\text{mm}$  de lámina delgada el cual sería simulado como una maya 2-D obteniendo resultados distintos, no obstante la parte fundamental que se compone por *DISIPADOR* y *MORDAZA* mantienen resultados similares.

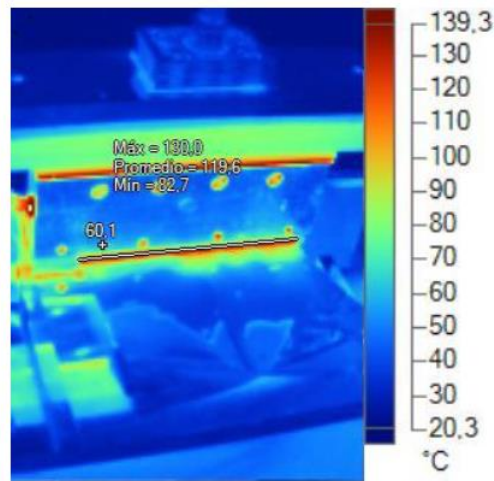


Fotografía termográfica 2 "Mordaza inferior y región de disipación térmica"

Para continuar la discusión de resultados a partir de las imágenes termográficas se hará referencia a la Fotografía termográfica 2. La información relevante proveniente de esta fotografía termográfica es el nivel de temperatura registrado en la región de los barrenos de disipación, correspondiente al gradiente de temperatura y flujo conectivo captada en la Imagen 36-A y en la Imagen 41-B provenientes del resultado de la simulación, además es posible ver que dichos barrenos funcionan como lo acordado dentro de la etapa de diseño teniendo concentradores de calor los cuales serán disipados por el flujo de aire en estos mismo todo esto para obtener el menor daño hacia los sellos o retenes del cilindro neumático.

Otro de los aspectos importantes por señalar en este resultado es la temperatura que se obtienen mediante el contacto térmico de la mordaza inferior con el banco de pruebas ya que al tener un elemento como es la placa de alineación esta realiza una doble función, una de las cuales no había sido prevista durante el diseño del banco de pruebas de sellado térmico, pues al estar en contacto directo se tiene una disipación mayor en la *MORDAZA INFERIOR*, razón por la cual por lo cual puede existir un problema en cuanto al calentamiento desigual de ambas mordazas, debido a que este elemento no estaba contemplado dentro de la simulación térmica. Es por lo antes mencionado que se remarca en un rectángulo la distribución de temperatura

de dicho elemento para tener un criterio a futuro para solucionar, sentando como precedente otra forma de alineación si es que en los análisis posteriores se obtiene como resultado una gran diferencia entre la temperatura de sellado de la mordaza superior y la temperatura de sellado de la mordaza inferior.



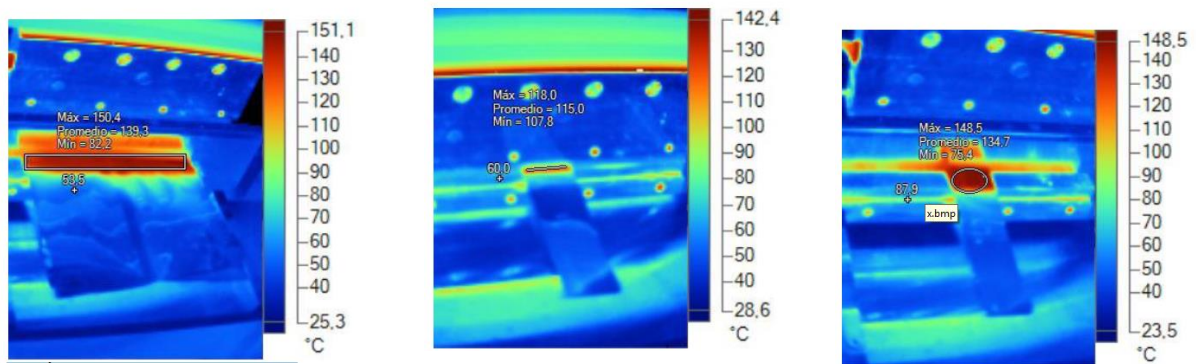
*Fotografía termográfica 3 Temperatura en región de sellado, durante la realización del proceso de sellado térmico*

Continuando con la discusión de resultados a partir de las imágenes termográficas se hará referencia a la fotografía termografica 3 (para más detalle ver página 8 del anexo 7.6). Al ver la Imagen existen resultados importantes, puesto que esta Imagen fue realizada justo al momento del funcionamiento del banco de sellado, ya que esta es una prueba de validación crítica en la cual, la temperatura es un factor muy importante, debido a que si fuese el caso en el que la temperatura en la superficie de sellado no se presentase homogénea teniendo regiones de muy alta y muy baja temperatura el diseño del banco de pruebas desde el punto de vista de transferencia térmico no sería validado teniendo como resultado un trabajo inconcluso como resultado de una distribución de temperatura durante la prueba de sellado deficiente.

Pero, al analizar la Imagen el promedio de temperatura en la superficie de sellado se obtiene como resultado una temperatura dentro del régimen de temperatura tipo "Peel Seal", así que, como primera instancia durante el proceso de sellado térmico el banco de pruebas de sellado térmico cumple con los parámetros de régimen de

temperatura, además que la Imagen muestra coloración muy homogénea, por lo cual no existe un argumento contrario al hacer mención que el banco de pruebas de sellado térmico cumple con el parámetro de temperatura para generar sellos de tipo “Peel Seal” durante el proceso de sellado, por otra parte se corrobora el resultado de la simulación térmica de una distribución de temperatura homogénea en la superficie de la mordaza durante el contacto de la mordaza con un elemento como lo fue la película multicapa sellada lo anterior se puede observar en el anexo 7.6.

Para concluir el análisis de imágenes termográficas y brindar un mayor peso en la validación del banco de pruebas y su funcionamiento bajo un régimen de temperatura homogéneo en la superficie de la mordaza se tomaran en cuenta las siguientes fotografías termográficas 4-A, 4-B y 4-C. Estas imágenes fueron obtenidas bajo pruebas similares pero en el caso de la Imagen 4-A. La importancia en este proceso de validación de es la zona del sello térmico pues se aprecia una distribución homogénea de temperatura, por lo cual el sistema de sellado del banco de pruebas de sellado térmico funciona bajo los parámetros de diseño estipulados en el diseño conceptual y diseño a detalle de los capítulos tres y cuatro de este trabajo.



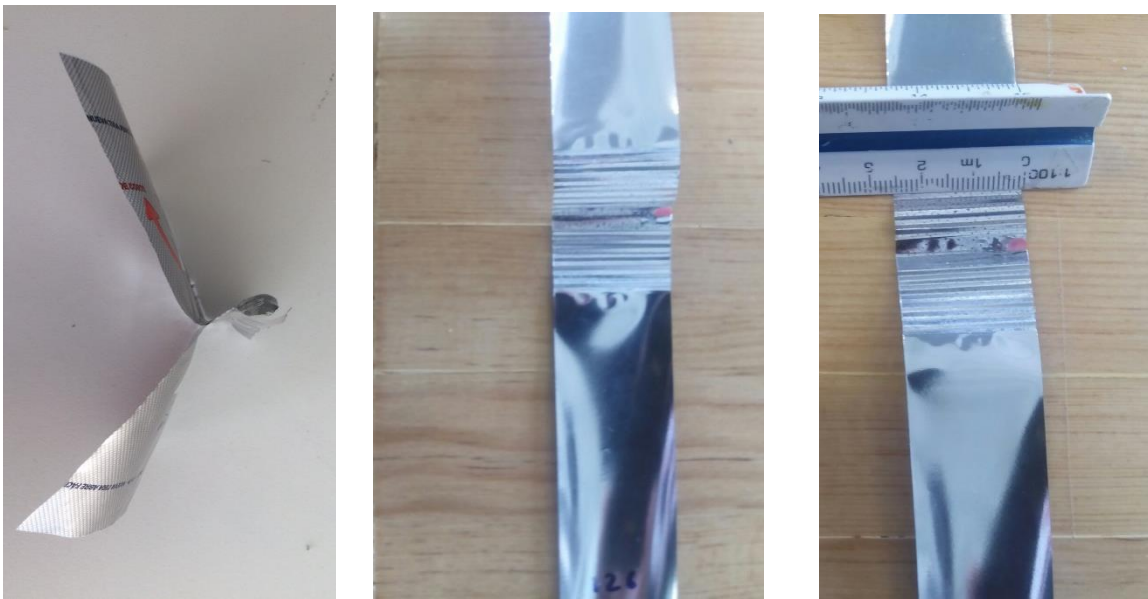
*Fotografía termográfica 4-A) Región de temperatura en superficie sellada, después de haber pasado .10s del proceso de sellado térmico, 4-B) Región de temperatura durante el proceso de sellado térmico en una probeta, 4-C) Región de temperatura en superficie de probeta sellada, después de haber pasado .10s del proceso de sellado térmico.*



Por ultimo hace falta recalcar un punto de gran interés que se ha mencionado a lo largo de este proceso de validación y que representa un punto de partida hacia trabajos a futuro y rediseños de sistema de sellado térmico; el aprovechamiento de la energía térmica. Puesto que en las imágenes termografías también aparece como resultado una gran cantidad de calor desperdiciada al ambiente y durante el proceso de precalentamiento de banco de pruebas, por ello como parte de un criterio ingenieril se opta por enunciar que el banco de pruebas de sellado térmico funciona desde el punto de vista del diseño planteado y se pueden plantear mejoras.

### 5.1.3. PRODUCCION DE PROBETAS.

El objetivo principal del banco de pruebas de sellado térmico era la producción de probetas bajo la norma (ASTM F88, 2007) y con las características de un sello tipo "Peel Seal", como se planteó en los antecedentes y el diseño a detalle del banco de pruebas de sellado térmico, las imágenes confirman el perfil de sellado de las probetas y las medidas propuestas por la ya antes mencionada norma.



*Imagen 42-A), Resultado de probeta sellada bajo el perfil de la mordaza de sellado térmico y acorde a las medidas establecidas por la norma ASTM F88. Imagen 42-B) Perfil de sello de la mordaza diseñada en este trabajo. Imagen 42-C). Medida especificada por la norma ASTM F88 en el área de sellado.*

Durante la realización de este trabajo existieron demasiadas preguntas ligadas a la parte técnica del diseño, para concluir los resultados finales es válido apelar a la parte emocional del mismo tomando en cuenta la siguiente pregunta ¿Qué fue lo aprendido? Independientemente de la obtención de un perfil de sellado diseñado existen un gran número de vivencias que generan un aporte directo a lo que se conoce como criterio ingenieril además de ello se suma el trabajo en equipo, el cual genera diversos retos de comunicación tanto en los integrantes del equipo de diseño, como con los proveedores del proyecto durante el proceso de realización de cotizaciones. Puesto que a nivel comercial se manejan tiempos de entrega y

protocolos que no se toman en cuenta durante el proceso de enseñanza de ingeniería, Es por lo antes mencionado que para poder elaborar un proyecto como el desarrollado en este trabajo es importante mantener un canal de comunicación amplio.

Dicho lo anterior el presentar las imágenes anteriores (Imagen 41 A, B y C) como resultado de pruebas y funcionalidad del banco de pruebas es un orgullo, ya que se lograron confrontar un gran número de retos técnicos y personales es por esa razón que se confía y se tiene la certeza en el que el banco de pruebas de sellado térmico puede realizar una producción de probetas estandarizadas por un periodo prolongado de diez horas continuas sin sufrir daños a alguno de sus componentes principales.

#### 5.1.4. TRABAJO A FUTURO Y BANCO DE PRUEBAS BASADO EN EL DISEÑO CONCEPTUAL PRESENTE.

Los sistemas de sellado térmico tienen un sinnúmero de aplicaciones en el ambiente industrial por lo que requieren de innovación y de optimización, pese a que parezca ser un proceso sencillo de implementar y relativamente obsoleto, por lo que es importante realizar investigación en estos sistemas, puesto que como se observó a lo largo de este trabajo existen diversas formas de obtener oportunidades de mejoras en los sistemas de sellado, tanto en las geometrías de sellado, la presión de sellado o bien la temperatura del proceso todo lo anterior es ambiguo en este punto del trabajo, por lo que se plantearán un poco más aunque de forma muy compacta y concreta.

En cuanto a las geometrías de sellado podemos hablar tanto de optimización de energía como rediseño de mordazas, pues la tendencia en estos momentos es generar sistemas de sellado térmico con unicable teniendo una optimización de energía muy grande ya que el principio plantea un cable de nicromel que se calienta en una fracción de tiempo con el uso de poca presión, lo anterior nos coloca en un panorama de tipo “Downsizing” (reducción de tamaño) ya que en este trabajo se optó por un sistema más compacto que el de los sistemas industriales, teniendo con ello un mejor aprovechamiento de la temperatura. Se obtuvieron altos niveles de pérdida de calor por lo que se propone un rediseño en la mordaza así como un diseño conceptual nuevo basado en la idea unicable de nicromel que se presenta como una tendencia a futuro en los sistemas de sellado térmico por ende distintas formas de realizar el proceso de sellado térmico.

Lo anterior muestra parte de lo que es el tomar un trabajo desde la forma conceptual, o a detalle y continuar una línea de investigación, caso que se muestra en la Imagen 42, que es el banco de pruebas sellado térmico basado en el diseño conceptual de este trabajo, y como es parte de la ingeniería a futuro, presenta mejoras, las cuales fueron tomadas en cuenta en este trabajo. Basta con observar

que dicho banco fue desarrollado bajo una administración con mayores recursos, el principio de funcionamiento es el mismo.



*Imagen 43. Banco de pruebas de sellado térmico con una disposición de elemento distinto pero basado en el diseño conceptual del banco de pruebas desarrollado en este trabajo.*

Como parte de las mejoras a futuro en el tema de presión de sellado hay un resultando trascendental, meramente empírico, en este trabajo el cual no se mencionó hasta este momento; el cual es la capacidad de obtener probetas termo selladas con baja presión, lo que representa un ahorro considerable al hablar de energía invertida en sistemas de compresión de aire usados para generar el movimiento de cualquier tipo actuador neumático, así como el uso de cualquier actuador que se utilice para el prensado, independientemente de la energía que este utilice para efectuar el prensado. Prueba de ello fue la obtención de probetas de la misma calidad con el simple hecho de aplicar temperaturas de tipo “Peel Seal” en la superficie de la mordaza y realizar la prueba de sellado a una presión muy baja la cual era necesaria para regresar el sistema al punto inicial en el cual el vástago esta retraído, teniendo en cuenta que la presión de sellado en grandes rasgos fue el peso del *DISIPADO*, *PIEZA*, *RESISTENCIA TIPO CARTUCHO*, *MORDAZA* y *TORNILLERIA* sobre el área de la superficie de sellado. Esto anterior puede generar una línea de investigación la cual tenga como objetivo desarrollar sistemas de sellado térmico de baja presión.

Finalmente a manera de conclusión general de todo el trabajo, y al tomar nuevamente el tema de la temperatura de sellado, pues, a grandes rasgos el trabajo desarrollado en este banco de pruebas fue el diseño del mismo orientado hacia la parte térmica y de transferencia de calor, lo cual origino resultados diversos, con los cuales es posible concluir que de forma general que los sistemas de sellado térmico tienen un derroche de energía muy grande, prueba de ello está en las simulaciones y las imágenes obtenidas. Es por lo antes que realiza una gran invitación a la comunidad ingenieril en la participación, a través de la implementación de la investigación, para la optimización de sistemas de sellado térmico, pues con ello puede generarse un impacto directo en costos de producción y al ambiente, ya que muchas de las industrias, si no es que todas utilizan el proceso de sellado térmico para el empaque de sus productos y, si este es más eficiente en todos los sentidos se habrá contribuido con la una mejora ingenieril, social, económica y ambiental.

## 5.2. BANCO DE TENSIÓN.

Como ya se ha mencionado en el anterior capítulo, la aprobación del Banco de Pruebas Para la Prueba de Tensión se hizo con base a las gráficas obtenidas al momento de la ejecución de la misma, estas gráficas se compararon con las gráficas mostradas en la norma (ASTM F88, 2007) Por lo tanto, en este apartado nos enfocaremos al análisis de los resultados mostrando el mayor interés en las gráficas, pero sin dejar de mencionar la calibración previa del Banco y el protocolo seguido al momento de ejecutar la prueba.

### Calibración e inicialización del banco para ejecutar la prueba

La calibración de toda máquina, que se hace previamente a su utilización en el momento de ejecutar la tarea para la cual está destinada, siempre es de suma importancia, pues de esto depende en gran medida que su funcionamiento sea correcto para que desempeñe la tarea que el usuario asigno. La calibración de la maquina no debe confundirse con la inicialización, a pesar que para nuestro caso estas dos actividades van de la mano, pues, aunque la mayoría de los componentes del banco se calibran una única vez, de acuerdo a la instrumentación hecha, cada vez que se realiza la prueba de tensión para una aplicación diferente, al cambiar uno de los componentes del banco (celda de carga), lo que implica una calibración.

Entendida la calibración como “una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y, en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación”, de acuerdo a la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, en nuestras pruebas se tienen que realizar cada vez que se cambia la celda de carga de acuerdo a la aplicación que se le vaya a dar al Banco.

Dicha calibración consiste únicamente en verificar que la conversión del voltaje en la señal de salida de la celda de carga en términos de fuerza sea la correcta. Para

esto se hacen pruebas para medir, simultáneamente a la celda de carga, la fuerza con un dinamómetro calibrado previamente.

Por otra parte, la inicialización de los parámetros únicamente se refiere a la inicialización de la velocidad, así como la dirección en el motor de corriente directa. La velocidad de este motor se controla y ajusta variando únicamente el voltaje de entrada hasta conseguir que el motor nos entregue la velocidad deseada, para cumplir este propósito nos tenemos que auxiliar de un tacómetro para estar midiendo la velocidad cada vez que modificamos ajustamos el voltaje suministrado.

Debido a que la norma (ASTM F88, 2007) demanda que la prueba se realice con una velocidad constante entre 200 y 300 mm/min se tienen que hacer mediciones y pruebas para determinar con que velocidad debe trabajar el motor de corriente directa. Dicha conversión es necesaria debido a que la velocidad a la que trabaja el motor no es la misma con la velocidad que se desplaza la mordaza superior, pues se tienen que recordar que el movimiento del motor no se transmite directamente, ya que antes pasa por una reducción con la que se obtiene una ganancia en el par otorgada y ese movimiento de rotación también se modifica y se convierte en un movimiento de traslación gracias al conjunto del tornillo sin fin con su respectiva tuerca en la que se acopla la pieza que desplaza a la mordaza superior.

La determinación de la velocidad del motor se hizo de manera experimental, midiendo el tiempo en el que la mordaza superior se desplazaba una determinada distancia con la suministración de diferentes valores de voltaje mientras que un tacómetro medía simultáneamente la velocidad en la flecha del motor. A partir de varias pruebas, se encontró que la velocidad del motor para que la mordaza se desplazara a 200 mm/min, es de 60 RPM, este valor se debe mantener fijo durante toda la prueba y en caso de querer modificar la velocidad de la prueba, se debe volver a hacer el experimento descrito anteriormente.



### 5.2.1. PROTOCOLO PARA EJECUTAR LA PRUEBA DE TENSIÓN.

Parte del protocolo que se sigue para poder realizar la prueba de tensión se ha descrito en el capítulo anterior cuando se describe el funcionamiento de la máquina de tensión, en este apartado se detallará todo el protocolo seguido antes, durante y posterior a la ejecución de la prueba.

1. La preparación del banco para la prueba de tensión inicia colocando la mordaza requerida para el tipo de prueba que se ejecutará, así como las piezas con las que se sujeta.
2. Teniendo colocadas todas las piezas del banco se procede a revisar cuidadosamente la alineación de las mordazas para que se guarde la línea de tensión al momento de colocar la probeta, una desviación de la línea de tensión generaría una lectura incorrecta debida al pequeño momento generado. Esta revisión se realiza haciendo uso de escuadras mientras se ajustan los tornillos que sujetan los coples a la placa base.
3. Posterior al ajuste de las piezas se procede a revisar que la calibración e inicialización de la máquina haya sido la correcta, tal como se describe en el apartado anterior.
4. La prueba se inicia al colocar la probeta sellada en los elementos de sujeción del banco, con cualquiera de las técnicas recomendadas.
5. El siguiente paso para poder realizar la prueba es desplazar los elementos de sujeción a una posición neutra, considerada como “Cero máquina”, en la cual se mantendrá la probeta estirada, pero sin ejercer tensión sobre la misma.
6. Finalmente, la ejecución de la prueba de tensión comienza al accionar el desplazamiento del elemento de sujeción a la velocidad propuesta en la norma.
7. Se ejecuta la prueba, la fuerza utilizada durante la prueba, así como el desplazamiento, deben ser registrados y mostrados en una gráfica en la interfaz ya se ha descrito.

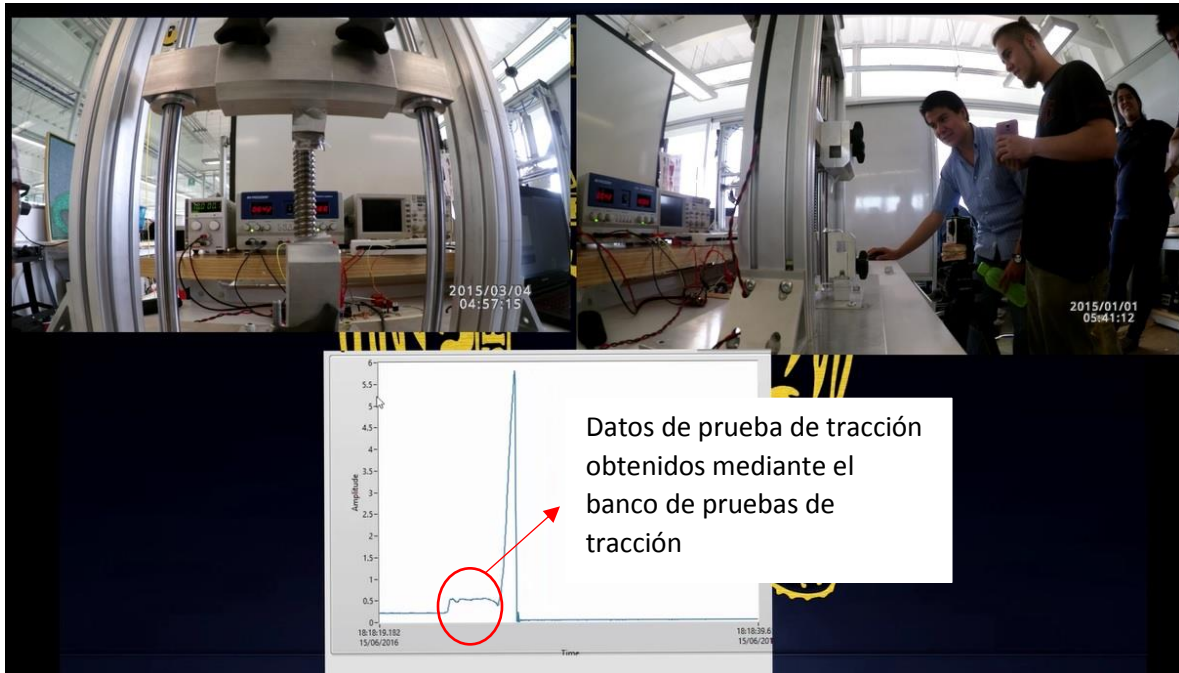
8. El motor de corriente directa se debe detener segundos después de que el sello de la probeta se haya roto.
9. Los datos de fuerza contra desplazamiento que fueron registrados durante la ejecución de la prueba se revisaran para ajustarlos y plasmarlos en una gráfica con una escala adecuada que los muestre en las unidades solicitadas (Newton y milímetros).

## 5.2.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TENSIÓN

A partir de los datos que se obtienen a través de la tarjeta de adquisición DAQ, en la interfaz gráfica que se diseña en Lab View® se va mostrando la fuerza con la que se rompe el sello de la probeta. Dicha gráfica se puede observar en la Imagen 43, no se muestra en el eje independiente el desplazamiento en milímetros, pues para esta gráfica el tiempo es el parámetro que contra el cual se va graficado (aunque el tiempo guarda una estrecha relación con las revoluciones del tornillo sinfín, que a su vez, al tener un paso conocido genera un desplazamiento lineal conocido), no obstante, en esta gráfica nos arroja datos muy importantes de como es el comportamiento del sello mientras se está rompiendo,

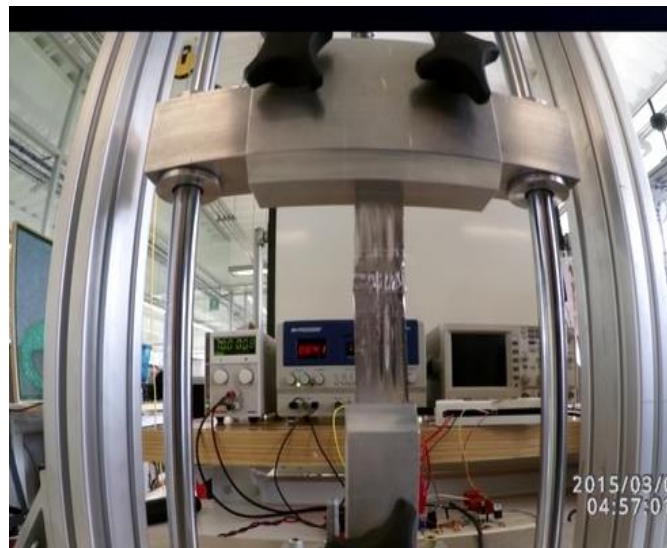
Los datos adquiridos y graficados, también son almacenados en un arreglo para que posteriormente se post procesen, de modo que se pueda obtener una gráfica de Fuerza contra desplazamiento tal como la que se muestra en la orma norma (ASTM F88, 2007). El post procesamiento que se tiene que realizar para poder obtener la gráfica deseada se hace tomando en cuenta la velocidad con la cual se realizó la prueba, pues el desplazamiento es una variable que se puede obtener integrando la velocidad y al ser ésta una variable constante el desplazamiento es proporcional al tiempo en el que transcurre la prueba. Así mismo, el post procesamiento para poder obtener la fuerza con las unidades deseadas, es decir en Newtons, se hace utilizando la conversión señalada en la hoja de especificaciones de cada una de las celdas de carga.

En la Imagen 43, se puede observar el instante en el que se termina la prueba de tensión y el sello de la probeta ha sido roto, las tres imágenes de las diferentes vistas de la ejecución de la prueba corresponden al mismo instante, en la gráfica se puede ver todo el registro de cada instante de la prueba de tensión, siendo los picos más pequeños los correspondientes a la ruptura del sello y el pico más grande a la ruptura del material más la inercia de todo el mecanismo junto con el motor de corriente directa.



*Imagen 4. Ejecución de la prueba de tracción y datos obtenidos de la prueba de manera gráfica.*

En la Imagen 44, que se muestra a continuación, se pueden ver de manera muy clara los primeros picos que corresponden a la ruptura del sello, esto se debe a la geometría que tienen las mordazas para el sellado térmico de las probetas. La geometría del perfil de las mordazas de sellado cuenta en su superficie con picos y superficies planas, lo que hace que el sello no requiera la misma fuerza para romperse en sus diferentes segmentos marcados debido al perfil de la mordaza ya mencionado.



*Imagen 45 Graficación de la ruptura del sello para la probeta sellada térmicamente eliminando información no deseada, en la cual se puede ver que la geometría de la mordaza de sellado afecta directamente en la realización de la prueba de tracción.*

### 5.2.2.1. COMPARACIÓN DE LAS GRÁFICAS OBTENIDAS CONTRA LAS GRÁFICAS QUE SE MUESTRAN EN LA NORMA Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials.

La comparación de las dos gráficas mostradas en la Imagen 45, únicamente se puede hacer respecto al comportamiento que tiene la fuerza requerida para romper el sello en la probeta respecto al desplazamiento sin involucrar las magnitudes en ambas variables puesto que para eso se necesita hacer un post procesamiento de los datos almacenados en el arreglo ya mencionado, de modo que se la fuerza se pueda observar en términos de Newtons y el desplazamiento en términos de milímetros.

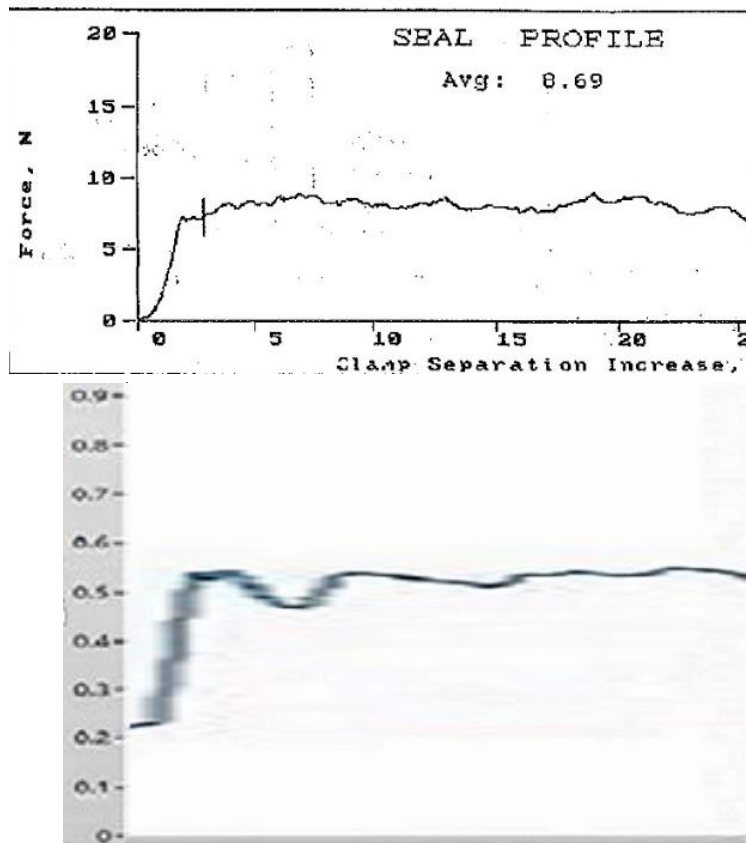


Imagen 46. Comparación de la gráfica mostrada en la norma (ASTM F88, 2007) Gráfica A y la Gráfica B.

En ambas gráficas se puede observar un comportamiento similar y casi la misma trayectoria, pues para ambas el primer pico de fuerza se presenta casi en un solo instante partiendo desde cero, lo que se ve como una línea vertical, además de que enseguida se pueden ver varios picos, que no inician desde cero hasta que el último pico desciende para estar en cero nuevamente. Como ya se ha mencionado anteriormente, los picos pequeños, que conservan casi la misma magnitud, se generan debido a los segmentos de sellado que se generan debido a la geometría del perfil de la mordaza de sellado.

En la gráfica que comparamos contra la gráfica de la norma (ASTM F88, 2007) (Ver Imagen 45-A), únicamente se presenta el comportamiento de la ruptura del sello descartando el pico más alto que se muestra en la Imagen 44, debido a que este último pico corresponde a la ruptura del material no sellado sumado a la inercia del motor en conjunto con todo el mecanismo.

Por último y a manera de conclusión de este extenuante trabajo al reflexionar un poco más en cuanto al resultado obtenido pues de esto depende en gran parte la validación del funcionamiento de banco de pruebas de tensión, en cuanto a la comparación del perfil de sello obtenido mediante la prueba de tensión realizada por dicho banco en comparación con la gráfica de la Imagen 45-A podemos ver que existe una zona de comportamiento elástico del sello el cual se representa como la pendiente de la curva obtenida, estrictamente a grandes rasgos es posible validar el funcionamiento de dicho banco de pruebas pues como se observa en esta comparación la zona elástica del sello tiene un gran parecido y como parte de un análisis más afondo es posible mencionar que esta zona plástica al igual que en la presentada por la norma (ASTM F88, 2007) no tienen un perfil completamente lineal, debido a que en el inicio de la misma gráfica se puede ver un comportamiento distinto, como es el caso del análisis de la mecánica de sólidos presentada como antecedente de este trabajo citando una la gráfica de la Imagen 5 (POPOV, 1999) podemos extrapolar al caso de los materiales multicapa y mencionar que cuentan con un comportamiento similar en su curva de deformación en la zona plástica y bastaría con obtener la pendiente de dicha curva para obtener el módulo de

elasticidad debida al sello térmico generado en el banco de pruebas de sellado térmico y con ello establecer un criterio de calidad del sello en el cual podrá entrar dentro de ciertos rangos de calidad en la diversas industrias, por ello esta zona de comportamiento elástico del sello es muy importante como parámetro de caracterización, no es el único del cual hablar pues además de este, existe el perfil de sellado.

En cuanto al perfil de sellado, al tomar en cuenta que este perfil no es como tal toda la información graficada u obtenida durante la prueba de tensión, pues existe una zona elástica del mismo sello el cual a graso modo en la Imagen 45-B seria desde el inicio de la gráfica hasta antes de entrar a la cresta del primer pico, la información graficada posterior a esta que va de desde la primer cresta hacia adelante justo antes de la caída súbita es lo que se considera perfil de sello, el cual en el caso de la Imagen 45-B refleja distintos parámetros como lo son: la calidad con la cual fue sellada dicha probeta, la homogeneidad de la temperatura de sellado y la geometría de las mordazas.

En lo que se refiere a la calidad es mencionar si existieron agentes externos durante el proceso de sellado térmico, los cuales provocan que dicho sello tuviera caídas y subidas súbitas o debido a áreas del mismo en las cuales el material no logro fundirse completamente debido a la intervención ya antes mencionada, en el caso de la prueba señalada en este trabajo no apareció ese comportamiento por ende la calidad de sellado cumple con tener un perfil sin caídas y subidas abruptas, mostrando cambios de la temperatura, pues al ser una de las tres variables de mayor interés durante el proceso de sellado, la zona elástica y el perfil del sello dependen de este pues en el caso de haber un exceso de temperatura durante el proceso de sellado debido a una mala distribución de la misma en las mordazas se presentarías casos similares a las caídas u subidas abruptas durante la prueba, o simplemente obtendría un sello tipo "Tear Seal (KAZUO HISHINUMA, 2009) el cual se caracteriza por realizar la ruptura o desgarre del material, teniendo que aplicar una mayor cantidad de fuerza.



Finalmente se tomara en cuenta cómo es que afecta la geometría o perfil de superficie de sellado en las mordazas de sellado, en los resultados arrojados por la Imagen 45-B, y lo que se infiere en este trabajo es que la relación directa que existe entre el perfil de sello y la geometría de las mordazas de sellado está ligado a la calidad del sello, pues cada uno de los picos de la gráfica de la Imagen 45-B corresponden con uno de los picos de la geometría de la mordaza de sellado, ya que justo en ese contacto podría haber existido un fenómeno de concentración de esfuerzo y con ello una mayor presión de sellado debido a que el área de contacto en el perfil de la mordaza de sellado real son los dientes de la mordaza de sellado, y en este caso corresponde con el número de secciones de sellado, en la gráfica de la Imagen 45-B solo son perceptibles cuatro, debido a que el número cinco fue omitido por la interferencia al momento de la ruptura del material. Por ello es posible enfatizar la diferencia principal entre las gráficas A y B de la Imagen 45, pues desconocemos el perfil de mordaza con la cual se ejerció la prueba de la Imagen 45-A. En cuanto a la resolución de banco de pruebas de sellado se necesita realizar una mejora a futuro para con ello obtener una mejor visualización de lo que sería el perfil de sello.

## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

En cuanto al seguimiento de una metodología propia, se puede concluir que al momento de diseñar rara vez se sigue una metodología de manera estricta o lineal, pues para este caso, algunas de las etapas de la metodología de diseño se fueron construyendo de acuerdo a las necesidades que surgieron y que no se tenían contempladas. Lo que es importante recalcar y no perder de vista durante cualquier etapa, es el tener siempre claro los objetivos del proyecto, de modo que, aunque se sigan muchos caminos durante el proceso, ninguno de ellos debe desviar el propósito final de un proyecto, al contrario, debe realizar el aporte de alguna mejora. Uno de los rasgos característicos durante el desarrollo de un proyecto es la realización de iteraciones dentro de las etapas de diseño para mejorar el producto, proyecto o servicio. Otra observación importante es que cada quien sigue su propio método de trabajo, no se deben descartar otras posibilidades que te pueden ser útil.

Referente al desarrollo de un criterio ingenieril dentro de un proyecto, se puede subrayar que la única manera de conseguir un criterio acertado para realizar la toma de decisiones es valorar cuales son las repercusiones de las mismas y a partir de ello tomar las suficientes “armas” para defender y justificar dichas decisiones, lo mismo aplica para llegar a ser un buen diseñador o un buen ingeniero, esto debido a que, si bien se tiene la teoría requerida para realizar algún proyecto, siempre será necesario llevar a la práctica dicha teoría, puesto que el mundo real siempre tendrá más variables que no se llegan a considerar o a controlar en su totalidad y para el caso de cometer un error (lo cual no es inevitable), siempre hay que buscar aprender de ello, por lo cual se debe aplicar un criterio profesional amplio.

Lo anterior se expone con el propósito de enfatizar que, *el temor a equivocarse no debe ser un impedimento para diseñar o realizar ingeniería*, pues, *si te vas a equivocar, lo mejor es que te equivoques pronto*, sin que esto signifique que se busque errar, más bien tiene el significado del aprender de algún error inevitable, por lo cual se busca que dicha etapa de aprendizaje se lo más pronto posible para

poder continuar con el desarrollo del proyecto habiendo tomado las decisiones para afrontar dichos errores . Un ejemplo claro de cometer un error y aprender de él en este trabajo de tesis fue en la selección de un servomotor en lo que se refiere a la primera iteración del banco de pruebas para tensión, que, si bien nos daba muchas ventajas respecto a un motor de corriente directa, no consideró la presencia de ruido electromagnético generado por su controlador.

Una de las conclusiones más importantes a la cual se llega en este trabajo, es que, durante el proceso de diseño, muchas de las herramientas, tanto de diseño como de análisis, tal como los softwares o programas (Dígase de paquetería CAD-CAE o PLM), llegan a ser indispensables y de gran ayuda durante la realización de un proyecto, pues su uso facilita la visualización del mismo, disminuye el tiempo de ejecución de dicho proyecto y contribuye en la toma de decisiones que afecten el proyecto, pues los resultados de estos en el caso de CAE mediante el uso de FEM tienen un margen de error aceptable referente al comportamiento de los componentes del producto o sistema, además de ello se recalca que existe una tendencia de las empresas hacia el uso de simulaciones, por la parte de CAD-CAM la paquetería brinda la capacidad de rediseño e iteraciones en un menor tiempo, además de todo lo anterior, el uso de dichas herramientas presenta la ventaja de poder disminuir el costo debido a que no se tiene físicamente un producto o concepto, lo cual al final repercute en la aprobación de diseño para manufactura. El uso de pruebas físicas dentro de la industria, son de gran peso para la validación o validaciones finales, por ello en este proyecto se dio mucho peso a los resultados de imágenes termográficas.

Para el caso de la manufactura en ambos bancos de pruebas, cabe resaltar la importancia que tienen los ajustes y tolerancias descritos en los planos además de las herramientas como GD&T(Geometrical Dimension and Tolerance), puesto que en los ensambles y simulaciones de los modelos sólidos de CAD, el comportamiento de los mecanismos no se ve afectado por este tipo de detalles, y solo hasta el

momento de manufacturar y tener los componentes físicamente, el funcionamiento del mecanismo si se ve afectado, puesto que en muchos casos la manufactura de un proyecto se realiza con maquinaria convencional y no con herramientas de manufactura CNC.

Respecto a la prueba de tensión que se realizó en el presente proyecto, se pueden hacer múltiples conclusiones, ya sea respecto al protocolo seguido para la ejecución de dicha prueba o respecto a los resultados obtenidos a través de ella, por lo cual lo primero que se hace notar, es: Si no se tiene un protocolo adecuado para poder realizar la prueba, la ejecución de la prueba de tensión resultará complicada al no tener un orden que seguir, además de que a través de él podemos validar y estandarizar la ejecución de la prueba para que con ello se puedan hacer comparaciones entre una prueba y otra de ser necesario.

Por otra parte, la discusión de los resultados obtenidos mediante la ejecución de la prueba se hace en el apartado anterior, por lo cual en este apartado se hará mención únicamente aspectos que consideramos importantes para dar una conclusión al trabajo realizado. Entre dichos aspectos, se recalca que con la gráfica obtenida podemos analizar la calidad del sello de manera cualitativa y cuantitativa, pues pese a que la escala utilizada para graficar, tiene unidades diferentes a la gráfica mostrada en la norma (ASTM F88, 2007), el análisis de la forma de los picos, crestas y valles, sin importar su magnitud, es la parte esencial generada en este trabajo, es a través de ese comportamiento, se puede validar este proyecto como el inicio de una línea de investigación que puede retomar este trabajo realizado hasta este punto como antecedente.

## 7. ANEXOS

## REFERENCIAS.

- ASTM F88. (2007). *Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials*.
- BEER, JOHNSTON, MAZUREK, & EISENBERG. (2010). *Mecánica Vectorial para ingenieros, ESTÁTICA*. Ciudad de México, D.F. , Méico: The McGraw-Hill.
- BUDYNAS, R., & NISBETT, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- FRENCH, M. (1999). *Conceptual Design for Engineers* (Tercera edición ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- KAZUO HISHINUMA, P. (2009). *Heat Sealing Technology and Engineering for Packagin* . Tokyo : Sai Shobowa.
- machinery, B. (20 de 11 de 2006). *You Tube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fjZumBSduME>
- National\_Instruments\_Corporation. (17 de 10 de 2016). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- POPOV, E. (1999). *Mecánica de Sólidos*. Ciudad de México : Pearson Educación .
- Rexroth Bosch Group. (25 de 10 de 2016). *PERFILES BOSCH*. Obtenido de <http://www.perfilesbosch.com.mx/catalogos/bosch-rexroth/>
- ULRICH, K., & EPPINGER, S. (2009). *Diseño y desarrollo de productos* (Cuarta Edición ed.). D.F., México: McGRAW-HILL.