



**VALIDACIÓN DE DISCO SPENCER, EN EL
PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS MOTO-
PROTECTORES**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN
MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**ING. SAÚL MARTÍNEZ OLIVARES
ASESOR: DRA. ROCÍO MONTSERRAT CAMPOS GARCÍA**

AGUASCALIENTES, AGS., NOVIEMBRE 2020.

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



15 de Noviembre de 2018

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Dra. Rocio Monserrat Campos García y Mtro. Edgar Omar Mora García, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "VALIDACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN DISCO SPENCER FABRICADO POR UN NUEVO PROVEEDOR, EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS MOTO-PROTECTORES EN UNA EMPRESA DE MANUFACTURA", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de MAESTRO EN MANUFACTURA AVANADA

Durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 15 días del mes de Noviembre del año 2018.

Dra. Rocio Montserrat Campos Garcia
Asesor Académico

Mtro. Edgar Omar Mora Garcia
Asesor en Planta

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Santiago de Querétaro, Qro.
17 de agosto de 2020

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.


Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del **Ing. Saúl Martínez Olivares**, del trabajo titulado:

“Validación de disco Spencer en el proceso de fabricación de los moto-protectores”

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de esta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE


Dr. Luis Alberto Cáceres Díaz

AGRADECIMIENTOS

Todo esfuerzo y empeño puesto por parte de mi persona, en este trayecto de preparación y adquisición de conocimiento, se lo ofrezco primeramente a Dios que me dio la entereza, a mi esposa e hijos que me dieron su apoyo, y a mi madre que sembró en mí las bases.

Asimismo, agradecer a trabajadores de Sensata y personal de CIATEQ quienes directa o indirectamente hicieron posible la elaboración de esta tesis, aportando ideas, datos, e información que engrandecieron el análisis y conclusiones de la misma.

RESUMEN

Desde 1950 el bimetálico utilizado en la elaboración de discos Spencer para moto protectores dentro de la empresa Sensata Technologies, ha sido suministrado por un único proveedor el cual contaba con la patente. Hoy en día existe no solo una competencia nacional, sino una competencia global; contar con más de un proveedor da a la empresa acceso a una mayor gama de precios, además de colocarla en una posición menos vulnerable para así garantizar el suministro de nuestros bienes al cliente final, donde la variedad de aplicaciones es muy amplia y podemos resaltar unas de las más importantes consideradas como esenciales en la industria médica, transporte, aire acondicionado y equipos de enfriamiento para tratamientos médicos alimentación y de construcción. En la presente tesis se analiza el proceso de fabricación de los moto protectores a partir de los discos Spencer fabricados con el bimetálico en cuestión, en el cual las propiedades metalográficas químicas y mecánicas intervienen en el desempeño final de los moto-protectores, el disco Spencer construido con el bimetálico es formado para que la acción mecánica del cambio de estado de cóncavo a convexo sea utilizado para abrir o cerrar el circuito eléctrico, el cambio de estado del disco es llamado SNAP y este se da por los esfuerzos entre la unión de los metales con diferente coeficiente de termo expansión. El análisis de las propiedades físicas químicas y metalográficas nos llevó a profundizar en la cristalografía de los metales puesto que dimensionalmente no se distingue diferencia al analizar el tamaño de grano se distingue que la muestra del nuevo proveedor requiere aumento para mejorar su desempeño y alcanzar el desempeño del proveedor actual. Esto fue basado en investigaciones anteriores donde [17] YICHUN Liu, menciona que el tamaño del grano juega un papel importante en las propiedades de expansión térmica total, lo que proporciona una forma prometedora de lograr una amplia gama de valores de CTE en aleaciones de invar, como veíamos el invar es la aleación de bajo coeficiente de expansión térmica. Gracias a lo cual se logra estabilizar y mejorar el desempeño con el nuevo proveedor y poder calificar un nuevo bi-metal después de más de 69 años.

Palabras clave: Bimetálico, Moto-protector, Tecnología metalúrgica.

ABSTRACT

Since 1950, the bimetal used in the production of Spencer discs for motorcycle protectors within the Sensata Technologies company, has been supplied by a single supplier which had a patent. Today there is not only a national competition, but a global competition; Having more than one supplier gives the company access to a greater range of prices, in addition to placing it in a less vulnerable position in order to guarantee the supply of our goods to the end customer, where the variety of applications is very wide and we can highlight some one of the most important considered essential in the medical industry, transportation, air conditioning and cooling equipment for medical and construction treatments. In this thesis, the manufacturing process of motorcycle protectors is analyzed from Spencer discs manufactured with the bimetal in question, in which the metallographic, chemical and mechanical properties intervene in the final performance of motorcycle protectors, the Spencer disc Constructed with bimetal, it is formed so that the mechanical action of the change of state from concave to convex is used to open or close the electrical circuit, the change of state of the disk is called SNAP and this is given by the efforts between the union of the metals with different coefficient of thermo expansion. The analysis of the physical, chemical and metallographic properties led us to delve into the crystallography of metals since dimensionally, no difference is distinguished when analyzing the grain size, it is distinguished that the new supplier's sample requires an increase to improve its performance and achieve performance current provider. This was based on previous research where [17] YICHUN Liu mentioned that grain size plays an important role in total thermal expansion properties, providing a promising way to achieve a wide range of CTE values in invar alloys. As we saw, invar is the alloy with a low Coefficient of Thermal Expansion. Thanks to which it is possible to stabilize and improve performance with the new supplier and to qualify a new bi-metal after more than 69 years.

Key words: Bimetal, Moto-protector, Metallurgical technology.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR | i |
| CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| GLOSARIO..... | xi |
| CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2.1 Preguntas de investigación..... | 4 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.4.1 Objetivo general | 5 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 5 |
| 1.5 HIPÓTESIS | 6 |
| CAPÍTULO 2. MARCO CONTEXTUAL | 7 |
| 2.1 ANTECEDENTES | 7 |
| 2.2 ACTUALIDAD..... | 9 |
| CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO..... | 10 |
| 3.1 ROLL BONDING..... | 10 |
| 3.2 BI-METALES FLEXIBLES | 12 |
| 3.3 MOTO-PROTECTOR..... | 14 |
| 3.3.1 ¿Qué es un Moto Protector?..... | 15 |
| 3.3.2 Aplicaciones..... | 15 |
| 3.3.3 Proceso de producción..... | 16 |
| 3.3.3.1 Ensamble del moto-protector..... | 18 |
| CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO | 20 |
| 4.1 ANÁLISIS | 20 |
| 4.1.1 Especificación | 20 |

| | |
|--|----|
| 4.1.2 Análisis dimensional, mecánico y químico de la materia prima | 22 |
| 4.1.2.1 Análisis dimensional de muestras..... | 22 |
| 4.1.2.3 Análisis químico de muestras | 26 |
| 4.2 PRUEBA..... | 27 |
| 4.2.1 Validación del sistema de medición..... | 27 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS..... | 33 |
| CONCLUSIONES..... | 50 |
| APORTACION DE LA TESIS | 52 |
| APORTACION SOCIAL DE LA TESIS | 53 |
| RECOMENDACIONES | 54 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 55 |
| ANEXOS..... | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1, Desarrollo de Productos MP. Fuente: Sensata Technologies..... | 2 |
| Fig. 2, Línea del tiempo Sensata. Fuente: Sensata Technologies, Inc. History of our company. Sensata Technologies Website..... | 7 |
| Fig. 3, Comportamiento en estado caliente y frio. Fuente: O. Puscasua, S. Flexible bimetal and piezoelectric based thermal toelectrical energy converters. (2014) págs. 7-14..... | 13 |
| Fig. 4, Efectos de calentamiento y enfriamiento en un disco bimetálico. Fuente: Manual de referencia TI (2001)..... | 14 |
| Fig. 5, Motor eléctrico. Fuente: Elaboración propia..... | 15 |
| Fig. 6, Rollo de bimetal. Fuente: Elaboración propia..... | 16 |
| Fig. 7, Proceso de producción de disco. Fuente: Elaboración propia..... | 17 |
| Fig. 8, Proceso de ensamble de moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 19 |
| Fig. 9, Resultados de medición de muestras de nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia..... | 24 |
| Fig. 10, Propiedades mecánicas del bimetal del nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia..... | 25 |
| Fig. 11, Propiedades químicas del bimetal del nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia..... | 26 |
| Fig. 12, Maquina SDC para prueba de disco. Fuente: Elaboración propia..... | 28 |
| Fig. 13, Tinajas de aceite para pruebas en maquina SDC. Fuente: Elaboración propia... | 28 |
| Fig. 14, Resultados estadísticos de estudio GR&R para TOP en la maquina SDC. Fuente. Elaboración propia..... | 31 |
| Fig. 15, Resultados estadísticos de estudio GR&R para BOTTOM en la maquina SDC. Fuente: Elaboración propia..... | 32 |
| Fig. 16, Reporte diagnóstico para la media de TOP. Fuente. Elaboración propia..... | 36 |
| Fig. 17, Resumen de la prueba t, para la media de TOP. Fuente. Elaboración propia... | 37 |
| Fig. 18, Reporte diagnóstico para la media de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia.. | 38 |
| Fig. 19, Resumen de la prueba t, para la media de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Fig. 20, Reporte diagnóstico de la prueba t, para la desviación estándar de TOP. Fuente. Elaboración propia..... | 40 |
| Fig. 21, Resumen de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia..... | 41 |
| Fig. 22, Reporte diagnóstico de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia..... | 42 |
| Fig. 23, Resumen de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia..... | 43 |
| Fig. 24, Tamaño de grano bimetálico hong feng. Fuente. Elaboración propia..... | 45 |
| Fig. 25, Resumen de la prueba t, para bottom después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia..... | 46 |
| Fig. 26, Reporte diagnóstico para bottom después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia..... | 47 |
| Fig. 27, Resumen de la prueba t, para top después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia..... | 48 |
| Fig. 28, Reporte diagnóstico para top después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia..... | 49 |
| Fig. 29, Preensamble de moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 58 |
| Fig. 30, Remache de moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 58 |
| Fig. 31, Ajuste de calefactor en moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 58 |
| Fig. 32, Ribeteado de disco en moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 59 |
| Fig. 33, Ensamble del disco a base. Fuente: Elaboración propia..... | 59 |
| Fig. 34, Prueba de función del moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 61 |
| Fig. 35, Ensamble de tapa del moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 61 |
| Fig. 36, Ensamble de cable a moto protector. Fuente: Elaboración propia..... | 61 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Temperaturas en los tanques de sorteo y doblado..... | 60 |
| Tabla 2. Especificación mecánica del bimetál. | 21 |
| Tabla 3. Especificación dimensional del bimetál..... | 21 |
| Tabla 4. Especificación química del bimetál. | 22 |
| Tabla 5. Criterios de aceptación del estudio GR&R. | 30 |
| Tabla 6. Parámetros aceptables de discos en SDC..... | 33 |
| Tabla 7. Resultado de pruebas con bimetál de proveedor a validar..... | 34 |
| Tabla 8. Resultado de pruebas con bimetál de proveedor actual. | 35 |

GLOSARIO

CATV: (*Community Antenna Television*) antena comunitaria de televisión, un cable coaxial utilizado para llevar la televisión por cable a las instalaciones de los suscriptores.

Cóncavo: ángulo que se genera ante una curva y que supone el lado interno de la misma

Convexo: zona que se asemeja al exterior de una circunferencia o una superficie esférica, es decir, que tiene su parte sobresaliente dirigida al observador.

CTE: Coeficiente térmico de expansión, incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura.

Disyuntores de corriente: Interruptor automático que corta el paso de corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones.

GR&R: (*Gage Repeatability and Reproducibility*) Estudio de reproducibilidad y repetibilidad, ayuda a investigar si la variabilidad del sistema de medición es pequeña comparada con la variabilidad del proceso; que tanta variabilidad en el sistema de medición es causada por diferentes operadores y saber si el sistema de medición es capaz de discriminar entre diferentes partes.

HC: Cierre largo, el disco tarda más tiempo del que debería en regresar a su forma.

HES: (*High Expansion Site*) sitio de alta expansión.

HO: Apertura larga, el tiempo de activación del disco es más amplia de lo que debería.

HVAC: (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) Calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Isobárico: Proceso de compresión mediante el cual el volumen y la temperatura de un gas varían mientras que la presión se mantiene constante.

LC: Cierre corto, el disco regresa a su forma antes de lo que debería.

LES: (*Low Expansion Site*) sitio de baja expansión.

LO: Apertura corta, el disco se activa antes de lo que debería.

PLC: Computadora digital industrial que ha sido reforzada y adaptada para el control de procesos de fabricación, como líneas de ensamblaje o dispositivos robóticos, o cualquier actividad que requiera un control de alta confiabilidad y facilidad de programación y Proceso de diagnóstico de fallos.

Pressure Temperatura Bonding: Técnica de estado sólido utilizada en el trabajo del metal, capaz de unir metales similares y diferentes, donde los átomos de dos superficies metálicas sólidas se entremezclan a lo largo del tiempo.

SDC: (Secure Digital Container) Contenedor digital seguro.

VAC: (Volts of Alternating Current) Voltios de corriente alterna. La corriente varía de positivo a negativo y de negativo a positivo muchas veces por segundo.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Vivimos en un tiempo de modernidad, progreso y crecimiento en el que la tecnología es la protagonista en muchas de las sociedades a lo largo y ancho del planeta. Estos avances, han permitido que nuestra forma de vida mejore en el día a día. Uno de los avances tecnológicos más significativos en este sentido son los sensores, estos son una herramienta que además de facilitar nuestra vida diaria, permite mejorar procesos, evitar gastos innecesarios, controlar eficiencia y seguridad de diversos sistemas. Actualmente los sensores se encuentran muy presentes en la vida cotidiana y cada vez más se depende de ellos para determinadas tareas.

Un sensor es “Un dispositivo que mide o detecta una condición del mundo real, como el movimiento, el calor o la luz, convirtiéndola en una representación analógica o digital”. [1] o dicho con otras palabras “Dispositivo que reacciona ante un cambio: la reacción se aprovecha para hacer que funcione un control o instrumento: por ejemplo: la resistencia al transmisor se altera al cambiar la temperatura y esa modificación puede utilizarse en circuitos electrónicos para variar la corriente” [2]. La empresa Sensata Technologies, es el principal proveedor de sensores de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés), protectores eléctricos e interruptores para electrodomésticos residenciales a nivel mundial. Estos productos mejoran la seguridad, eficiencia y comodidad de millones de personas todos los días [3]. Una de las unidades de negocio de Sensata donde se realiza la manufactura de estos dispositivos se localiza en Aguascalientes, México.

Se clasifica como componente crítico a un dispositivo llamado Moto-Protector (MP), debido a que su función es evitar el exceso de consumo de energía eléctrica, así como la protección de equipos y de esta manera evitar incendios. Este producto se desarrolla desde 1950, con un primer modelo trifásico nombrado 7887, en 1960 se desarrollan modelos monofásicos de menor tamaño entre 1970 y 1980 se lanzan modelos 3HM, 4HM, 6HM, 31HM, 32HM, los modelos desarrollados desde 1990 actualmente continúan en producción, esto es que los modelos del 15M hasta 39HM se utilizan en aplicaciones industriales. [4] (Fig. 1)

Desarrollo de Productos MP Hermeticos

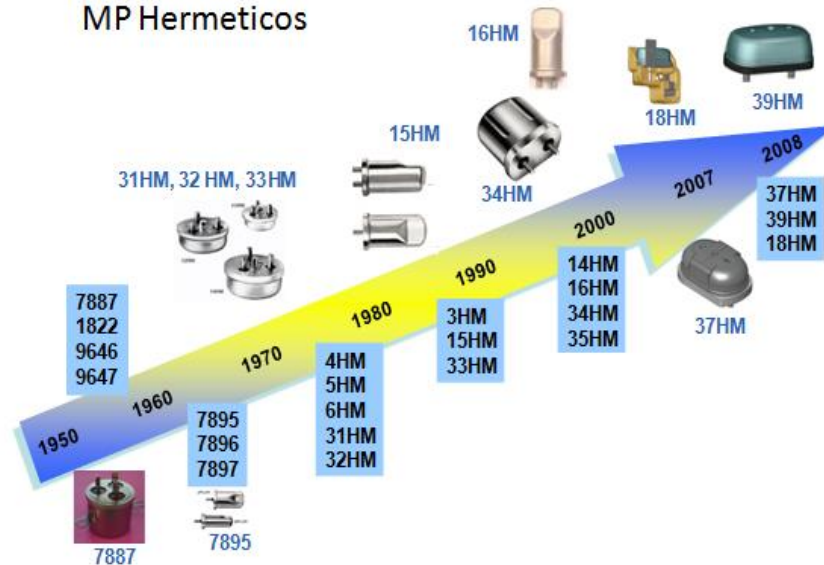


Fig. 1, Desarrollo de Productos MP. Fuente: Sensata Technologies

Los MP se desarrollaron para aplicaciones internas y externas en los motores, por lo tanto, algunos dispositivos están diseñados para condiciones de funcionamiento extremo, un ejemplo son los MP que están sumergidos en aceite y soportan temperaturas de más de 150°C, con voltajes de operación de 575Vac, debido a este diseño, los materiales usados, específicamente los metales, son costosos, incluso se utilizan metales preciosos como plata, cobre y acero inoxidable [4]. Actualmente sensata cuenta con un solo proveedor.

Esta tesis se encuentra estructurada en seis capítulos, los mismos que se describen a continuación:

Capítulo I, Se desarrolla el problema, justificación, objetivos e hipótesis, el tema de la tesis la validación del disco Spencer en el proceso de fabricación de los moto protectores partiendo de la descripción del estado actual del disco que actualmente es utilizado, así mismo se hace una clasificación del tipo de investigación y se presentan las premisas del estudio.

Capítulo II, Se describe una breve reseña histórica de la empresa. Toda la información pertinente acerca de la empresa, sus productos o servicios, su mercado y/o industria y el negocio en estudio los moto protectores.

Capítulo III, Se incorpora todo el sustento teórico, aplicable al presente trabajo de tesis y su aplicación en las propuestas realizadas se ahondará en el proceso de Roll bonding en el cual se obtiene el bi-metal flexible para la producción del disco Spencer, también será necesario describir el ensamble de los moto-protectores utilizando el disco Spencer, considerando importante entender las aplicaciones en las cuales intervienen los moto-protectores tanto en la industria como fuera del mismo.

Capítulo IV, Describe el diseño metodológico del trabajo esto se comenzará con las características físicas, químicas y el desempeño del disco y con esto poder realizar los estudios estadísticos y metalúrgicos para comprobar que el desempeño del disco fabricado por el nuevo proveedor es aceptable para usarse en la fabricación de moto-protectores.

Capítulo V, Resultados, en este capítulo se presenta el análisis de la información recabada para esta investigación mediante la herramienta de recolección de datos y comparación de corridas de control y al mismo tiempo se presentan los resultados de este análisis hecho a dichos datos. Los datos se analizaron con el programa Minitab.

Capítulo VI, En este último capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegaron dentro de la investigación, analizando el objetivo general de la presente investigación, se pretende determinar el grado de aceptación del nuevo disco del proveedor, el disco Spencer.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La selección y evaluación de proveedores es un proceso importante dentro de las organizaciones ya que lo utilizan, para obtener mayor competitividad y calidad en sus

productos, al mismo tiempo les permite a estas reducir la incertidumbre al momento de tomar una decisión y gestionar una compra. Una correcta evaluación de proveedor permite conocer cual proveedor puede satisfacer los requerimientos de la empresa y tomar la decisión de trabajar con ellos o no. De acuerdo con el entorno actual en la fabricación de Moto-protectores hay una sola fuente de disco validada desde 1930 por lo cual nos lleva a la necesidad de tener por lo menos otra fuente de suministro validada para los moto-protectores. Basado en los procesos de validación que se tienen del Disco S. las siguientes preguntas ayudarán a dar puntos clave a la investigación.

1.2.1 Preguntas de investigación

- ¿Cómo es el desempeño del disco Spencer fabricado por el proveedor actual?
- ¿Cómo es el desempeño del disco Spencer fabricado por un nuevo proveedor?
- ¿Cuál es la diferencia en el desempeño en sus propiedades mecánicas y físicas de un disco Spencer fabricado por un nuevo proveedor en comparación al proveedor actual?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El bimetálico es el material utilizado para la fabricación del Disco Spencer que a su vez es el componente más importante del Moto-protector, debido a que éste es usado como elemento conductor de corriente eléctrica y como sensor de temperatura. El bimetálico cuenta con una propiedad única la cual hace que el disco cambie de cóncavo a convexo (SNAP) o viceversa, así se abre o cierra el circuito eléctrico protegiendo al motor de sobrecalentamiento o carga excesiva. El cambio del disco depende de su calibración en la operación de formado y se calibra según las características térmicas y de corriente que el MP requiere para la aplicación específica del cliente. Después de producido el bimetálico en condiciones de maleabilidad lo suficientemente aceptables es enviado a SENSATA para la producción del disco. [5]

El proveedor de bimetales de Sensata Technologies domina el mercado, siendo su único proveedor desde 1950. Siendo la única empresa en su mercado específico, pueden establecer independientemente el precio del producto sin tener que considerar cuál es el precio de la competencia. En comparación, las empresas en un mercado competitivo pueden competir realizando cambios en los productos y servicios existentes y reduciendo los precios; uno de los incentivos más importantes para aumentar la productividad de las empresas es fomentar la competencia en los mercados. Al validar a un nuevo proveedor Sensata Technologies se vería beneficiada al contar con otras alternativas entre las cuales elegir acerca de la compra de este producto.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar el desempeño del disco Spencer fabricado por un nuevo proveedor para el proceso de fabricación de los moto-protectores, con la finalidad de validar a este como alternativa y poder decidir si es apto para trabajar con Sensata Technologies.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Revisar y analizar la documentación actual disponible de la unión (*bonding*), así como sus efectos por tratamiento térmico y en las propiedades resultantes en los Bimetales usados para Disco Spencer.
2. Analizar la condición del Disco Spencer antes y después de la operación de formado.
3. Analizar el efecto en las propiedades mecánicas en el disco, producido por el nuevo proveedor, en la línea 34HM MP.
4. Diseñar y realizar pruebas para distinguir el desempeño del disco y sus propiedades.
5. Analizar y documentar los resultados obtenidos de las pruebas anteriores en cuanto al desempeño del disco y sus propiedades.
6. Decidir si el nuevo proveedor/disco es apto para que Sensata Technologies lo considere como alternativa.

1.5 HIPÓTESIS

Es posible validar el desempeño de un Disco Spencer fabricado por un nuevo proveedor para el proceso de fabricación de los moto-protectores, empleando técnicas de caracterización microestructural, química, mecánica y análisis estadístico, en la empresa Sensata Technologies Ags.

CAPÍTULO 2. MARCO CONTEXTUAL

En este capítulo se menciona la historia de la empresa en donde se desarrolla este proyecto, cómo fue su evolución y cómo se encuentra actualmente.

2.1 ANTECEDENTES

Sensata Technologies comenzó como General Plate Company, la cual fue fundada el 24 de abril del 1916 por Rauthbun Willard proveniente de la industria de la joyería. Los productos de la compañía incluían materiales que tenían una superficie de metales preciosos para lograr la apariencia y características cosméticas deseadas, pero combinada con metales que mejorarían las propiedades mecánicas y reducirían el costo por los metales preciosos. Este fue el inicio de los metales revestidos. En la actualidad la empresa que provee a Sensata material bimetálico para sus discos es la Engineered Materials Solutions. [6] (Fig. 2)

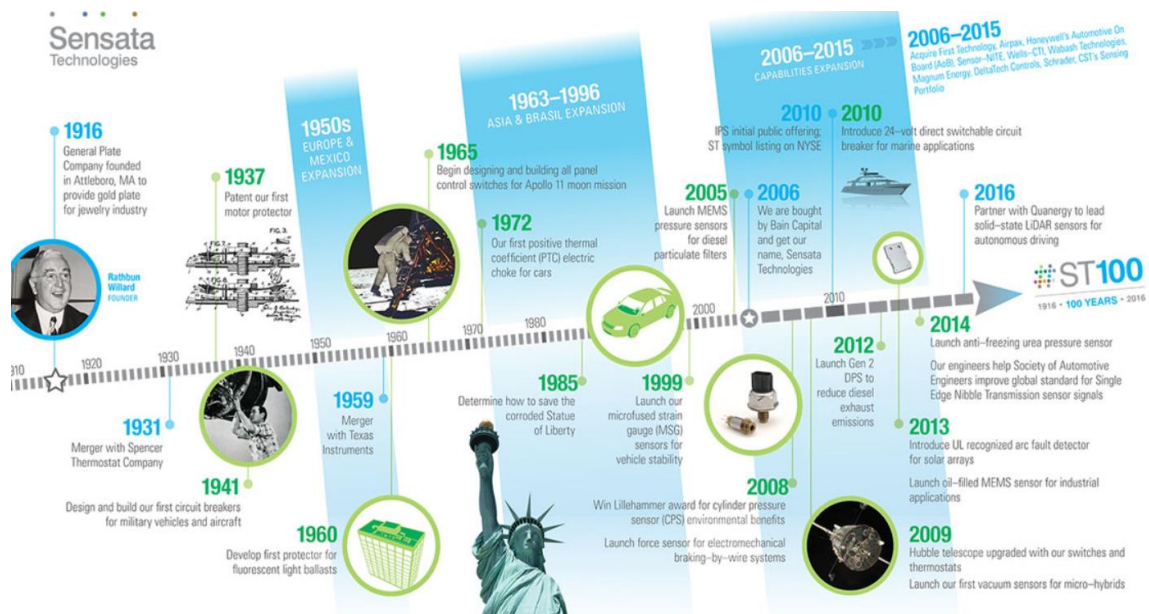


Fig. 2. Línea del tiempo Sensata Technologies. Fuente: Sensata Technologies, Inc. History of our company. Sensata Technologies Website.

En 1931 la empresa se fusiona con Spencer Thermostat Company de Cambridge Massachusetts y formaron la corporación Metales y Controles. Esta fusión combinó la capacidad de procesar los metales con la capacidad de medir y controlar la temperatura que más tarde llamarían la atención de la compañía Texas Instrument lo que en 1959 dio origen a la fusión entre TI y la corporación Metal & Controls. [6]

El invento más notable de Metals and Control es el método de Pressure Temperature Bonding. Hoy en día la mayor parte de los metales revestidos son fabricados mediante este método. Debido a su experiencia trabajando con una amplia gama de materiales, en especial en materiales de alto valor, la corporación Metals and Controls fue elegida por el Gobierno de estados unidos para ser el primer proveedor de barras de uranio. [6]

La corporación Metals and Controls se fusionó con Texas Instrument en 1959 y la reputación de la compañía en sus procesos de metalurgia e innovaciones en diferentes aplicaciones siguió creciendo. Durante este periodo, la compañía desarrolló una completa línea de productos con bi-metales termostáticos disponibles en tiras, piezas y ensambles. [6]

En 1963 Texas Instrumen renombró la división de Materiales y Controles.

La primera aplicación de recubrimiento de aluminio inoxidable fue para las cubiertas interiores y exteriores de los automóviles en 1971, el primer uso de cobre con revestimiento de aluminio fue utilizado para las líneas de transmisión CATV en 1977. La primera aplicación de cobre / invar / cobre para controlar la expansión térmica en sustratos electrónicos y tarjetas de circuitos fue en 1985, y el desarrollo de la laminación en frío isobárico el cual fue una solución al problema de la fricción en frío de materiales frágiles fue en 1992. [6]

El negocio fue renombrado como Sensores y Controles cuando el negocio de materiales fue vendido en el año 2000. En el año 2000 TI se separa de la empresa Engineered Materials Solutions, con el nuevo nombre la empresa refleja lo que ha

venido proveyendo desde 1916, materiales de alta ingeniería que continúa siendo el único proveedor de bi-metales para Sensata. [6]

En abril de 2006 Texas Instruments vendió el negocio a Bain Capital y el negocio de Sensores y controles se convirtió en una sola entidad llamada Sensata Technologies. En noviembre de 2006 Sensata compró el primer negocio de tecnología automotriz de Honeywell. En marzo del 2007 le sigue la compra de la empresa SMaL Camera de Cypress Semiconductor. En Julio de 2007 Sensata adquiere la empresa Airpax Holdings, Inc. y sus subsidiarias. En 2009 Sensata vende el negocio de SMaL Camera (Anteriormente de Cypress Semiconductor) a la empresa Melexis en 2009. La empresa se hizo pública en el año de 2010 [7].

2.2 ACTUALIDAD

Hoy en día Sensata es líder mundial e innovador en sensores de misión crítica y de protección eléctrica y cuenta con dos grandes negocios y centros de manufactura en nueve diferentes países.

Los dispositivos de sensata technologies son utilizados en aplicaciones automotrices, de la industria aeroespacial, en el sector militar, vehículos pesados, aires acondicionados, calefactores, telecomunicaciones, vehículos de recreación, sector marino, y a satisfacer la creciente demanda de seguridad, eficiencia de energía y cuidando el medio ambiente [6].

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

Dado que la mira central de esta investigación está puesta en la validación del desempeño de un disco Spencer para el proceso de fabricación de los moto-protectores, en este capítulo se muestra una revisión de información existente acerca de los procesos de fabricación del disco así como los procesos de fabricación de moto-protectores, para comenzar este capítulo se profundizara en el proceso de Roll bonding en el cual se obtiene el bi-metal flexible para la producción del disco Spencer, también será necesario describir el ensamble de los moto-protectores utilizando el disco Spencer, considerando importante entender las aplicaciones en las cuales intervienen los moto-protectores tanto en la industria como fuera del mismo.

3.1 ROLL BONDING

El Roll Bonding es un proceso de soldadura en estado sólido que permite la unión de dos diferentes metales, esta tecnología de fabricación es ampliamente utilizada en la industria. En este proceso, dos o más hojas, laminas o tiras de metales o aleaciones son colocadas juntas y posteriormente pasan a través de un par de rodillos los cuales causan una deformación entre los metales dando como resultado una sola pieza con la unión entre los dos metales originales. [8]

Durante el proceso de roll bonding, no se utiliza ningún relleno o adhesivo. Generalmente hay dos tipos de proceso de roll bonding, el roll bonding en frío y el roll bonding en caliente. El roll bonding en caliente es un proceso que involucra una fuente externa de calor, mientras que en el proceso de roll bonding en frío ninguna fuente externa de calor es utilizada. El proceso de roll bonding en frío tiene grandes ventajas sobre el proceso de roll bonding en caliente entre las cuales están: un grosor más uniforme entre las capas de los materiales, buena calidad en la superficie y bajo costo.

Antes del proceso de roll bonding, las superficies que van a ser unidas deben ser debidamente limpiadas y se debe de remover cualquier barrera que obstruya la unión entre los materiales. La limpieza química y mecánica son dos métodos comunes

utilizados para remover material orgánico y óxido de la superficie de los materiales. El detergente alcalino es utilizado normalmente para remover aceite o materia orgánica y una solución de ácido diluido es utilizada para remover el óxido de la superficie. La limpieza mecánica ayuda eliminar capas de óxido que son difíciles de remover en un área específica del material. Durante el proceso de bonding una alta reducción del grosor del material (se puede presentar una reducción del grosor de hasta 60% o más) se consigue después de pasar por los rodillos a presión. Esta gran reducción genera una gran cantidad de calor y se genera una nueva superficie en los materiales que fueron unidos. La nueva superficie durante el proceso de unión se debe de encontrar en un entorno controlado en donde no se pueda presentar la oxidación, y por lo tanto no se creen barreras que puedan obstruir la unión.

La unión (normalmente una unión mecánica) entre las diferentes capas que lo componen es obtenida a través del bloqueo mecánico interfacial (interfacial mechanical locking) y a la afinidad atómica entre los dos metales.

Después del proceso de roll bonding, le continua el proceso de tratamiento térmico conocido como recocido el cual es normalmente realizado para obtener o asegurar la unión metalúrgica. Además de la recuperación y recristalización de microestructuras durante el recocido, residuos e impurezas inorgánicas pueden ser gasificados y difundidos lejos de la interface del enlace, la difusión puede ocurrir a lo largo y a través de la interface del enlace, creando la estructura cristalina reticular común (common lattice structure).

Algunos de los sistemas de recubrimiento de metales no necesitan un proceso de recocido por separado después del proceso de bonding en frío, debido a que un proceso de auto-recocido ocurre durante el proceso de bonding.

Después del proceso anterior, los metales recubiertos pueden procesarse por cualquiera de los procesos convencionales de manufactura para el tamaño y la temperatura especificada. Los metales recubiertos pueden ser procesados por el

método de bonding en forma de rollo, su manufactura es altamente efectiva y de bajo costo, este proceso da origen a lo que se conoce como Bi-metales flexibles [8].

3.2 BI-METALES FLEXIBLES

El bi-metal es "un instrumento utilizado para medir temperatura mediante la contracción y expansión de dos distintas aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación" [9]. Este instrumento es utilizado en disyuntores de corriente, donde la corriente que circula por el mismo bimetálico lo calienta y hace que se abra el circuito limitando la corriente máxima. Una aplicación de los bimetálicos la constituyen los interruptores automáticos de seguridad llamados disco spencer, que convierten un cambio de temperatura en un movimiento mecánico y se emplean para proteger de sobrecargas y cortos circuitos las instalaciones eléctricas, estos discos son el principal elemento del Moto protector. [9]

Los bi-metales térmicos son capas dobles de metal fabricado por laminación. Una capa tiene un alto coeficiente térmico de expansión (CTE) y la otra capa tiene un bajo coeficiente térmico de expansión. La primera capa mencionada es llamada activa o HES (high expansion site), y la segunda ya que es más sensible al calor y por lo tanto genera más tensión térmica, es llamada pasiva o LES (low expansion site). Cuando es calentado un bi-metal este se dobla, este efecto también es conocido como efecto bimetalico. Esto ocurre debido al hecho de que la capa activa tiende a expandirse más que la capa pasiva cuando la temperatura aumenta. La capa pasiva tiende a cargarse en tracción, y la capa activa se carga en contracción ya que su expansión es restringida (Fig. 3). Si a la membrana bimetalica se le da inicialmente hará SNAP cuando esta sea calentada. Esto quiere decir que se moverá rápidamente de la posición estable a la inestable y cambiará la orientación de la curvatura. [10]

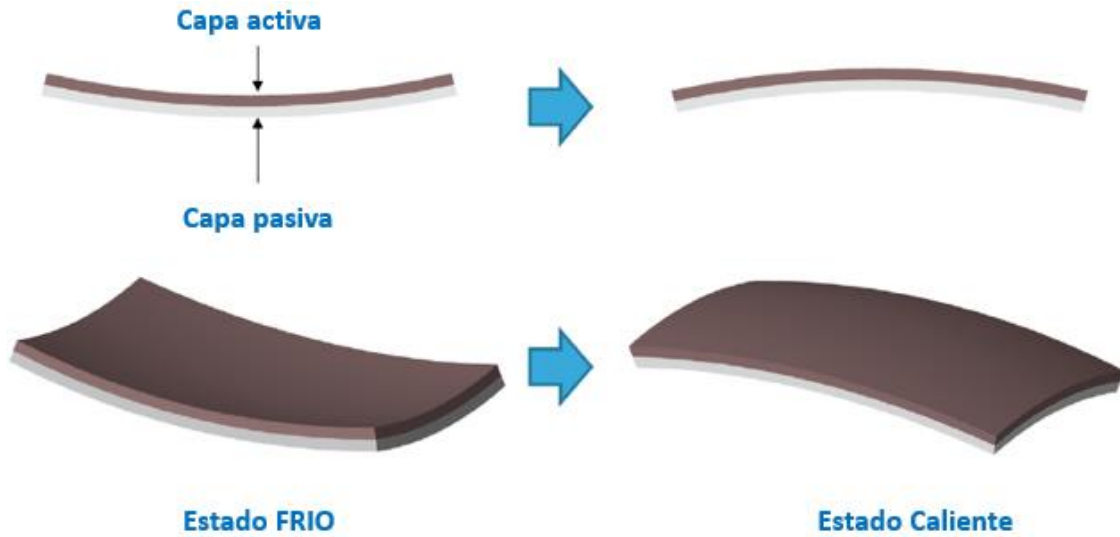


Fig 3. Comportamiento en estado caliente y frío. Fuente: O. Puscasua, S. Flexible bimetal and piezoelectric based thermal to electrical energy converters. (2014) págs. 7-14.

Si el bi-metal es calentado en una placa caliente y es tocado por una placa fría este se enfriará, hará SNAP y cambiará la orientación de la curvatura. Así es como es creado el ciclo de oscilación entre la placa caliente y fría. El efecto de SNAP depende de las dimensiones y de los metales utilizados. Esta es la expresión para una tira de bi-metal en un marco rígido:

$$T_u = \frac{1 + \frac{6f_0^2}{s^2} \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{9} \frac{s^2}{f_0^2} \right)^{3/2}}{\frac{3}{16} \cdot \frac{L^2}{sf_0} \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}$$

En donde:

L = largo

S = espesor

f_0 = la deflexión inicial del bimetel respectivamente.

α_2 = el coeficiente térmico de expansión de la capa activa

α_1 = son y la capa pasiva.

T_0 = es la temperatura de referencia.

La temperatura de retroceso del SNAP también depende de las dimensiones geométricas del bi-metal. El diferencial entre la temperatura de activación y la de retroceso, se llama histéresis del bi-metal. En la fase de calentamiento del bi-metal se genera energía elástica, esta es liberada y convertida en energía cinética durante la acción de SNAP, esto ocasiona que el bi-metal choque en el plato frío y detenga su movimiento. [10]

Después de producido el bi-metal en condiciones de maleabilidad lo suficientemente aceptables para poder formar el disco el cual es enviado a Sensata para la producción del disco. Es importante tener un proceso consistente en el formado del disco para reducir variación, para esto, el estrés de las inter-capas es un factor directamente relacionado con el cambio mecánico del disco conocido en el proceso de fabricación como SNAP (Fig. 4), por ello se requiere analizar esta relación y mejorar sus condiciones.

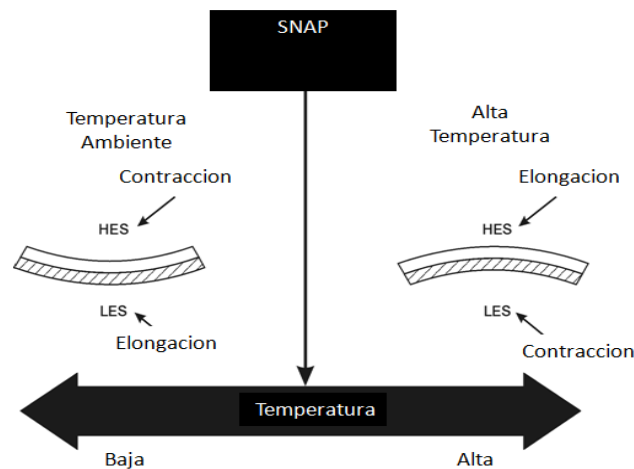


Fig. 4, Efectos de calentamiento y enfriamiento en un disco bimetálico. Fuente: Manual de referencia TI (2001).

3.3 MOTO-PROTECTOR

Posterior al procedimiento descrito para la elaboración del bi-metal y en manos de sensata, se comienza con la elaboración del moto-protector. En este punto se desarrollará la teoría para entender qué es y cuáles son sus aplicaciones dentro de la

industria, así como se describe el proceso de producción de su componente principal, el disco Spencer, y el proceso de ensamble de todo el moto-protector.

3.3.1 ¿Qué es un Moto Protector?

El Moto-protector es un dispositivo electromecánico que protege al motor eléctrico contra sobrecalentamiento debido a un mal funcionamiento, el cual corta de manera automática la corriente eléctrica previniendo el daño del motor. (Fig. 5)

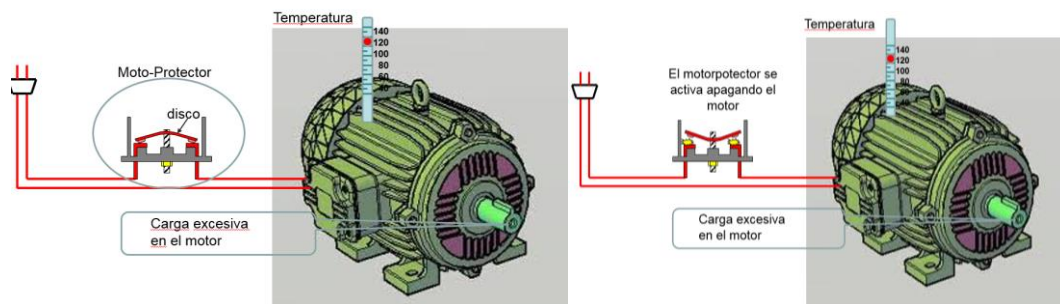


Fig. 5, Motor eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Aplicaciones

Los moto-protectores desempeñan un papel vital en la provisión de confort, ahorro de energía y seguridad de las personas. Una de las divisiones de la unidad de negocios de Sensata technologies conocida como Control Product, es en donde se fabrican los moto-protectores, el tipo de los moto-protectores depende del diseño de los mismos, cada uno es construido con determinados márgenes de temperatura, los cuales dependen de la exigencia y el uso que se le dé, pueden ir desde aplicaciones en ventiladores hasta aplicaciones médicas, aeroespaciales, vehículos de bomberos, equipos de laboratorio, generadores eléctricos, productos térmicos, motores, maquinaria, calentadores a gas, cafeteras, baterías, fotocopiadoras, protección anti-hielo, industria alimenticia, procesos de secado, calderas, aire acondicionado, detectores de incendio, equipos informáticos, entre otros.

En la industria, el control de temperaturas es sumamente importante. Moto-protectores diseñados para proteger sistemas de refrigeración y motores de compresores de aire acondicionado contra la temperatura excesiva de la bobina del

motor, donde las condiciones ambientales requieren un sello hermético, debido a que están expuestos a corrosión o sumergidos en aceite.

En el caso de la industria como es la automotriz, por ejemplo, los moto-protectores se utilizan para evitar que el motor se sobrecaliente y para que el refrigerante logre la temperatura exacta para que el motor funcione adecuadamente, del mismo modo, el control de temperatura en las maquinas puede prevenir una serie de fallas y accidentes. En la industria aeroespacial, se necesita un termostato de alta fiabilidad que controle la temperatura de una gran variedad de satélites, limitando el flujo de combustible en estos [11].

En el hogar, los moto-protectores son más enfocados a la cocina, se suelen utilizar en electrodomésticos, sistemas de calefacción o aire acondicionado [12].

3.3.3 Proceso de producción

El proceso comienza con la elaboración del disco que es la parte más importante del moto-protector. Los rollos de bimetálico llegan a Sensata, como se muestra en la figura 6, y después de verificar las condiciones del material, comienza su proceso de producción (fig. 7):

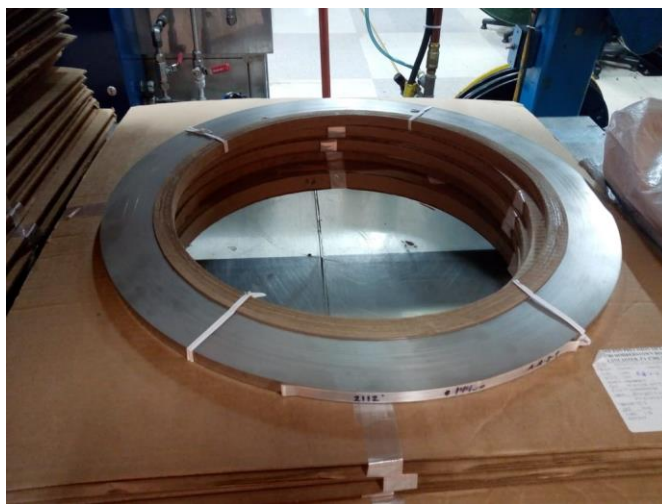


Fig. 6, Rollo de bimetálico. Fuente: Elaboración propia.

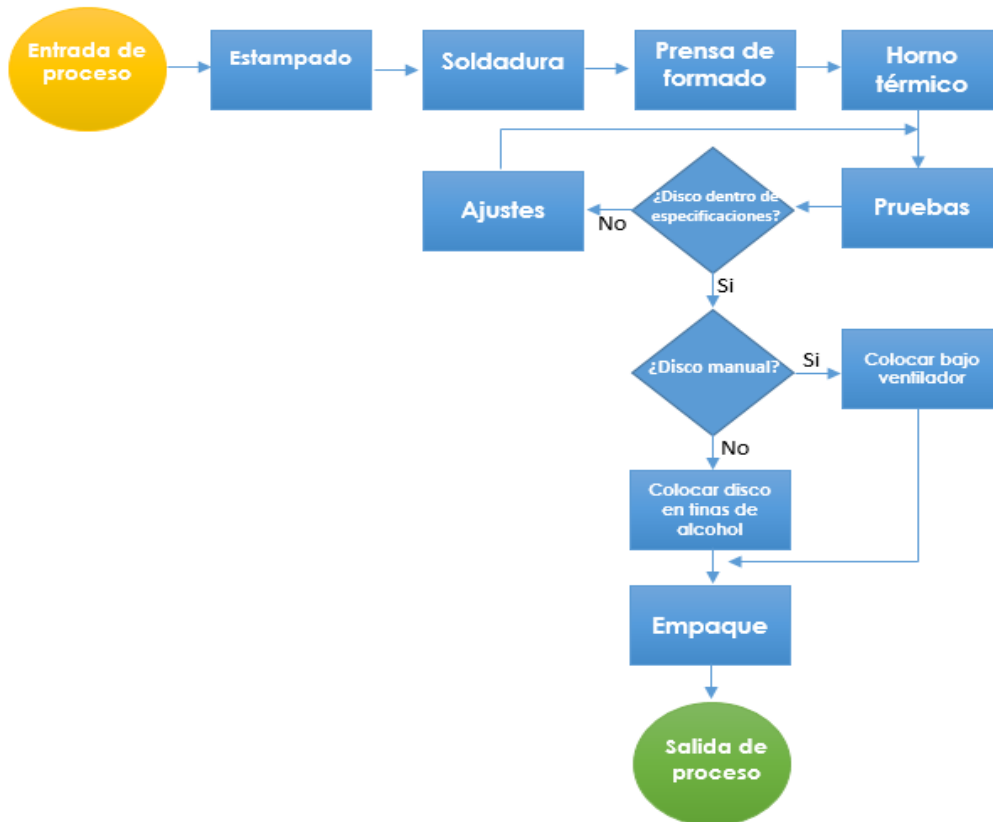


Fig. 7. Proceso de producción de disco. Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

- a) Estampado: El disco bimetálico pasa por una prensa Power Press VIO de 25 toneladas, la cual le da su forma específica dependiendo del modelo. La cantidad de discos contenidos en cada rollo deberá depender del modelo y del tamaño del carrete, si es contacto chico deberá contener entre 3500 y 4000 discos, si es contacto grande deberá de ser entre 3200 y 3800 discos.
- b) Soldadura: El disco se pasa a través de punteadoras y se soldan dos contactos, asegurándose que estén bien localizados.
- c) Prensa de formado: El disco pasa a través de una máquina la cual le da forma cóncava, así, dependiendo de la temperatura a la que se somete el disco, pasa de cóncavo a convexo.

- d) Horno térmico: Se coloca las piezas en una charola grande y se introduce al horno. El disco se somete a cierta temperatura para que mantenga la forma.
- e) Pruebas: Se programan tinajas de aceite a ciertas temperaturas, según estándares establecidos para cada modelo y se pone a prueba los discos para verificar su reacción.
- f) Si los discos reaccionan de acuerdo con la siguiente secuencia: Low Top = no-snap, High Top = snap, High bottom = no-snap, Low bottom = snap cse, continua con el siguiente paso. Si no, se ajustan los micrómetros de acuerdo con el comportamiento y se repite este paso hasta alcanzar dicha condición. Si las piezas que salen del horno son de reseteo automático se colocan bajo un ventilador hasta que terminen de resetearse. En el caso de estar procesando discos manuales, estos son reseteados en tinajas de alcohol.
- g) Por último, se colocan las piezas en contenedores de plástico y posteriormente se empacan en bolsas para llevarlas al área donde se ensambla el moto-protector.

3.3.3.1 Ensamble del moto-protector

Terminado el proceso de producción del disco, se envía al área de producción de ensamble del moto-protector el cual su flujo es el siguiente (Fig. 8):

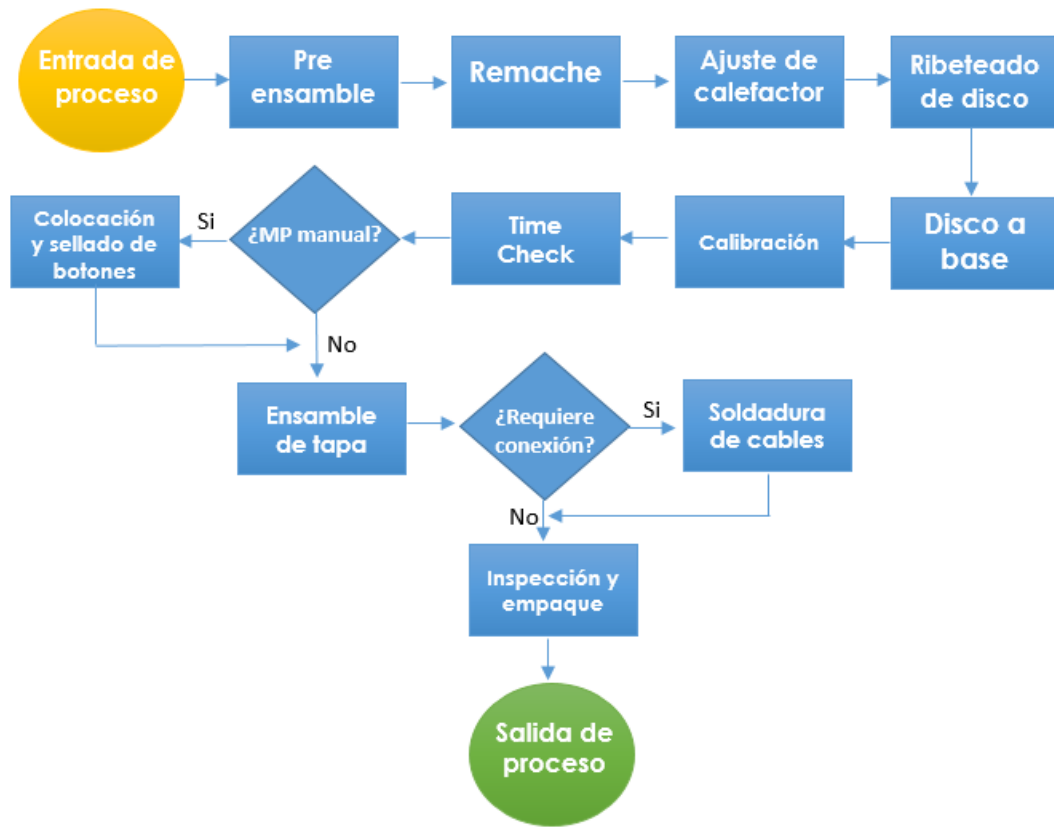


Fig. 8, Proceso de ensamble de motoprotector. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO

Como se menciona en los capítulos anteriores, es necesario validar las características físicas, químicas y el desempeño del disco, con el objetivo de optimizar que las condiciones de maleabilidad sean suficientemente aceptables para su producción y el proceso sea consistente en el formado del disco para reducir variación por lo cual se requiere analizar esta relación mejorando la condición actual y para esto se comenzará con los estudios estadísticos y metalúrgicos para comprobar que el desempeño del disco fabricado por el nuevo proveedor es aceptable para usarse en la fabricación de moto-protectores cumpliendo con el más alto estándar de calidad.

4.1 ANÁLISIS

A continuación, se presentan las especificaciones dimensionales, mecánicas y químicas establecidas por el área de diseño de acuerdo con las necesidades del cliente, así como el resultado de pruebas realizadas al bimetálico comparando su composición química, dimensional, física y mecánica del nuevo proveedor y del proveedor actual y así conocer si el bimetálico del proveedor a validar está dentro de los estándares requeridos.

4.1.1 Especificación

Las muestras recibidas en Sensata que fueron procesadas por Hong Feng, se analizan de acuerdo con las especificaciones metalográficas y se comparan con la muestra del proveedor actual, para verificar su composición química, así como también las dimensiones de la cinta de bimetálico que como se explicó es la materia prima que se procesará para formar el disco de los moto-protectores.

Las especificaciones de Sensata para este bimetálico identificado con el número de parte 8700-43-510, describen sus características dimensionales, mecánicas y químicas de acuerdo con las tablas 2, 3 y 4 mostradas a continuación.

En la tabla 2 la primera columna hace referencia a tipo de material y código, en este caso -43 y B1 respectivamente, también el porcentaje (%) de reducción en el momento de la compresión del bonding, las siguientes columnas describen la

composición nominal, esta está dada por el porcentaje dimensional del espesor entre el metal de bajo coeficiente de termo-expansión y el metal de alto coeficiente de termo-expansión así como la aleación de cada metal, es decir, el bimetál en estudio (-43) muestra el 50% del espesor que será para el lado de Alta CTE y 50% para el lado de baja CTE, la aleación se especifica 50% y 10% respectivamente. Siguiendo con la descripción de la especificación, las siguientes columnas hablan de la resistividad de Ohms por Pie lineal de la cinta; la dureza en Vickers tanto de un lado como del otro, después el módulo de elasticidad, así que se espera que las muestras del nuevo proveedor cumplan con esta especificación que será analizada posteriormente.

En la siguiente tabla (tabla. 3) tomando los tres últimos números del número de parte mencionado anteriormente, en este caso -510, muestra el espesor, el ancho, la curvatura máxima de las orillas por cada 3 pies lineales de la cinta bimetálica.

La composición química del material (tabla 4) está dada por 22% níquel, 3% cromo y el resto bario y hierro.

Tabla 2. Especificación mecánica del bimetál. Fuente Manual Sensata Technologies

| TIPO DE METAL NUM. | TIPO DE CODIGO | ±3% REDUCCION ACT | COMPOSICION NOMINAL | | | | ASTM RESISTIVIDAD A 75F OHMS POR CIR. MIL. FT. | ASTM FLEXIVIDAD AD ± 4% 50-200F X 10 ⁻⁵ | ASTM DUREZA VICKERS ±25 | | ASTM MODULO DE ELASTICIDAD NOMINAL X 10 ⁶ |
|--------------------|----------------|-------------------|---------------------|----------|-----------------|----------|--|--|-------------------------|----------------|--|
| | | | ALTA EXP. LADO | | BAJA EXP. LADO | | | | ALTA EXP. LADO | BAJO EXP. LADO | |
| | | | % ESPESOR TOTAL | ALEACION | % ESPESOR TOTAL | ALEACION | | | | | |
| -43- | B1 | 60 | 50 | B | 50 10 | ---- | 472±3% | 1.50 | 305 | 245 | 24 |

Tabla 3. Especificación dimensional del bimetál. Fuente Manual Sensata Technologies

| TIRA DE METAL NO. 8700 | GROSOR | ANCHURA | BORDE MAXIMO DE 75' F <PARA 3 ft. LARGO> | VER NOTA | CURVATURA A CRUZADA A 75' F PLANO A CÓNCAVO ALTA EXP. LADO MAX. ALTURA DE ACORDES PULG. <ES CONCAVA > <PARA 3 PULG LONGITUD > | ACABADO MATE | | HT/RSL | MARCADO DE GRABADO | | REF. 8700 |
|------------------------|------------|------------|--|----------|---|-----------------|-------------------|--------|--------------------|--------|-----------|
| | | | | | | REQUERIDO SI/NO | LADO DE EXPANSION | | PER PART SH NO.6 | METODO | |
| 510 | .012±.0003 | 1.200±.006 | 5/32 | 1 | .025 | .100±.050 | Y | H | | F | -308 |

Tabla 4. Especificación química del bimetálico. Fuente Manual Sensata Technologies

| | |
|---|--------------------|
| B | 22Ni, 3Cr, BA / FE |
|---|--------------------|

La comprobación dimensional, mecánica y química de las muestras se analiza a continuación.

4.1.2 Análisis dimensional, mecánico y químico de la materia prima

La cinta de bimetálico de Hong Feng, se someten a pruebas para comprobar sus especificaciones metalográficas y saber si estas están dentro del estándar que establece Sensata. Los resultados se presentan a continuación.

4.1.2.1 Análisis dimensional de muestras

Se mide la muestra recibida del nuevo proveedor y se verifica que tenga las especificaciones requeridas por Sensata.

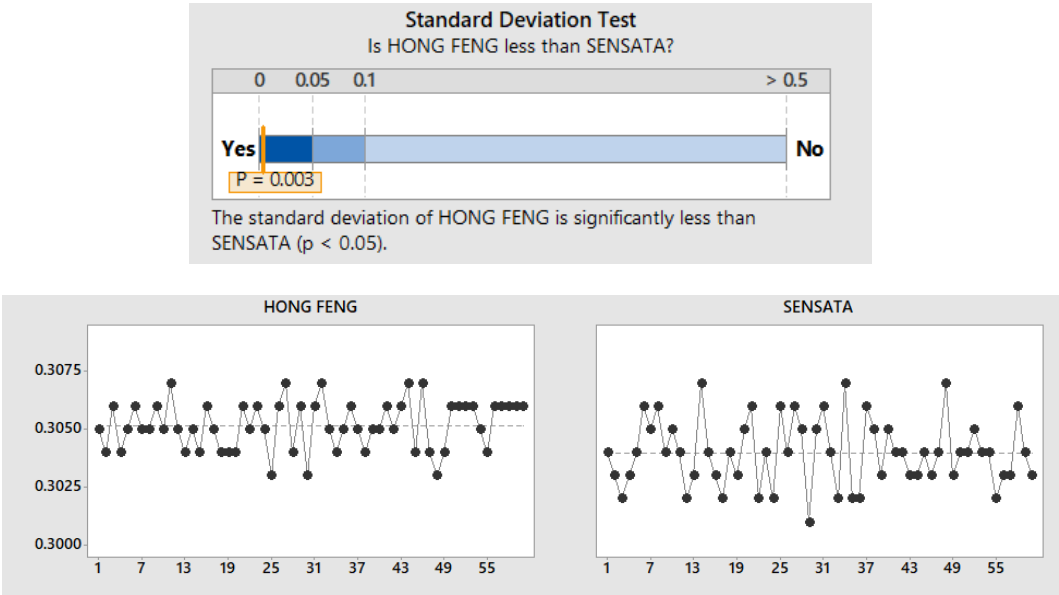
Así mismo se mide la muestra del proveedor de Sensata el cual se toman los datos del proceso durante un periodo de tiempo considerable para ver reflejado el desempeño del proceso y así analizar y comparar los resultados.

Se realiza una prueba de desviación estándar de las dos muestras en minitab para validar que tan dispersos están los datos con respecto a la media y poder validar el intervalo de confianza y así mismo tener un valor de referencia para estimar la variación general del proceso entre las muestras Hon Feng y Sensata.

Al hacer la comparación entre las dos muestras no hay puntos de datos inusuales. Los datos inusuales pueden tener una fuerte influencia en los resultados.

Debido a que ambos tamaños de muestra son al menos 20, la precisión del valor p no es un problema.

La muestra es suficiente para detectar una diferencia entre las desviaciones estándar del espesor del disco se acepta el nuevo proveedor Hong Feng en sus propiedades físicas ya que la desviación estándar de HONG FENG es menor que SENSATA con un nivel de significancia de 0.05 por lo que su grosor medio es adecuado y así poder permitir que la característica de calidad sea satisfactoria.



Así mismo se hace la comparación para la anchura de los discos en minitab una prueba de desviación estándar de dos muestras el cual se puede concluir que la desviación estándar de HONG FENG es menor que SENSATA con un nivel de significancia de 0.05.

La muestra (fig. 9) es suficiente para detectar una diferencia entre las desviaciones estándar, por lo que se acepta al nuevo proveedor Hong Feng en su anchura de disco.

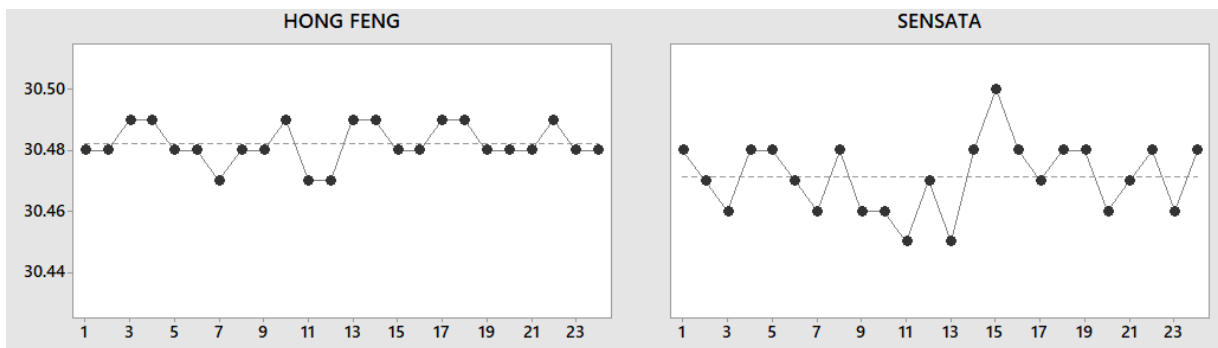
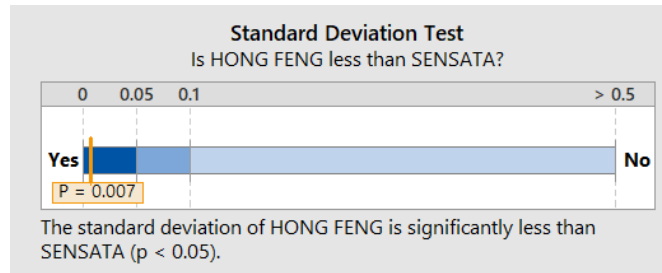


Fig. 9, Resultados de medición de muestras de nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, las muestras proporcionadas por el nuevo proveedor Hon Feng cumplen los análisis dimensionales físicos tanto de grosor como anchura y se tiene una estabilidad en el proceso de las mediciones sin tener sesgo en el tiempo, la muestra dada por Hong Feng es estadísticamente menor al proveedor actual por lo que representa mayor estabilidad y así poder continuar con el análisis de las propiedades químicas.

4.1.2.2 Análisis de propiedades mecánicas

En la figura siguiente (fig. 10) se muestran los resultados de las pruebas realizadas a la muestra del nuevo proveedor sobre las propiedades mecánicas. En donde se aprecia que la dureza tiene en el lado HES de 294.8 Vickers y en la tabla (2) la especificación es de 305.00 \pm 25 Vickers, de igual forma el Lado LES se observa que la dureza de la muestra es de 231.1 Vickers y su especificación es de 245 \pm 25 Vickers estando dentro de especificación, la desviación estándar se usa como referencia puesto que la especificación no la marca.

En la (fig. 10) También el análisis de la muestra con respecto de su especificación de resistividad Tabla (2) donde se conceptualiza en unidades (milímetro circular $\cdot \Omega$ / pie)

Un milímetro circular por pie es una unidad de resistividad en el sistema de unidades estadounidense tradicional. $1 \text{ milímetro circular} \cdot \Omega / \text{pie} = 2 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$. Por definición, un conductor con una sección transversal de un milímetro circular tiene una resistividad eléctrica de un mil ohmio circular por pie si una longitud de un pie de este conductor tiene una resistencia de un ohmio. Dando la muestra del nuevo proveedor un valor de 475 milímetro circular $\cdot \Omega / \text{pie}$, y su especificación de la tabla (2) es 472+/-3% esta característica también se encuentra dentro de la especificación de dibujo para un bimetal, que será usado para la fabricación de disco Spencer.

| HongFeng | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------|-------|-----|-----|-------|-------|-------------|------------|
| | | Test Result | | | | | | Avg. | STD |
| Dureza HV | HES | 282 | 309.3 | 300 | 270 | 311.6 | 296 | 294.8 | 16.1 |
| | LES | 225 | 226 | 231 | 235 | 229 | 240.6 | 231.1 | 5.9 |
| Ratio% | Ni22Cr3 | 49.50% | | | | | | | |
| | Ni36 | 50.50% | | | | | | | |
| Reistividad | | 475 | | | | | | | |
| Modulo de Elasticidad | | 24 | | | | | | | |
| Flexibilidad | | 1.5 | | | | | | | |

Fig. 10, Propiedades mecánicas del bimetal del nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia.

4.1.2.3 Análisis químico de muestras

En las figuras mostradas a continuación (fig. 11), se observan las propiedades químicas, que se obtuvieron a través de las pruebas realizadas al bimetalo del nuevo proveedor.

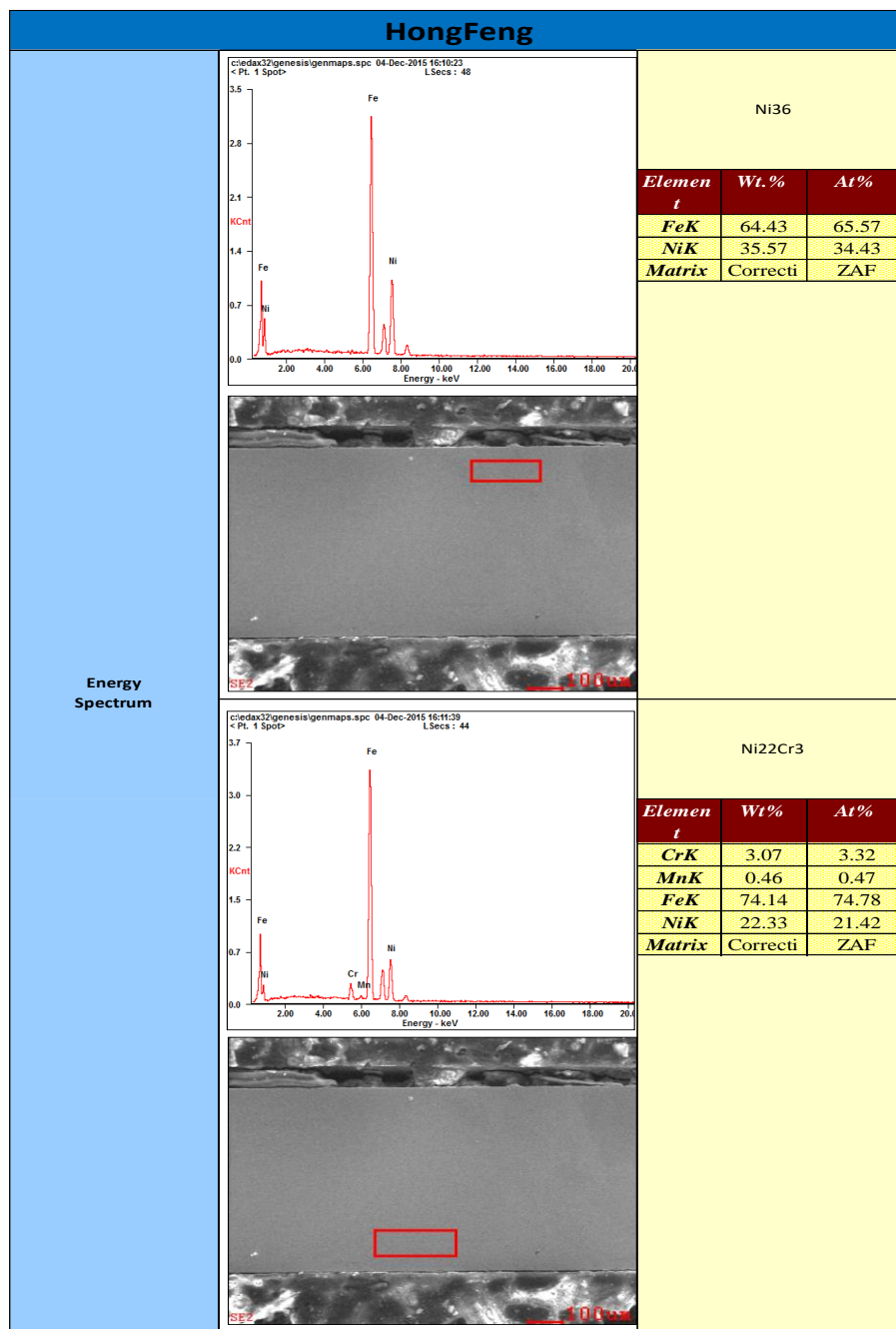


Fig. 11, Propiedades químicas del bimetalo del nuevo proveedor. Fuente. Elaboración propia.

Se puede concluir en base a la evidencia mostrada, que el bimetalo del nuevo proveedor cumple con las características dimensionales, mecánicas y químicas que Sensata requiere, por lo cual se puede proseguir con pruebas de estabilización.

4.2 PRUEBA

Una vez concluido que la muestra de bimetalo del nuevo proveedor cumple con las especificaciones técnicas, se prosigue con la corrida de validación con el fin de medir el desempeño del disco dentro del proceso, evaluar su comportamiento y así asegurar que es capaz de cumplir con los requerimientos. Para esto se realiza una prueba piloto, en donde se corren a la par el bimetalo de control, con el que actualmente trabaja Sensata, y el bimetalo del nuevo proveedor para comparar sus resultados.

Primeramente, se realiza un estudio Gage R&R para comprobar la efectividad del sistema de medición con el que se llevan a cabo las pruebas y posteriormente se muestra el resultado de dichas pruebas.

4.2.1 Validación del sistema de medición

Se realizó un estudio Gage R&R (Gage Repeatability & Reproducibility) para asegurar la confiabilidad de lectura en estos dispositivos de medición, en este caso para la máquina SDC (Fig.12).

Esta máquina mide la temperatura en la que el disco hace SNAP, registra a cuantos grados es la apertura del disco (TOP) y a cuantos grados se cierra (BOTTOM). Se colocan las piezas en los nidos, se pone cada disco sobre un acelerómetro el cual es usado para sensar y se comunica con el PLC de la máquina. Se mete el nido dentro de la tina de aceite (Fig. 13) y la máquina empieza a incrementar la temperatura (5 grados por minuto), cuando el acelerómetro detecta la vibración que causa el disco con el SNAP (TOP), registra en el sistema el grado en que sucedió. Después de esto, se pasa el nido a una segunda tina, la cual tiene una temperatura menor para esto con el fin de regresar el Disco a su posición de reposo (BOTTOM) y de igual forma se registra la temperatura.

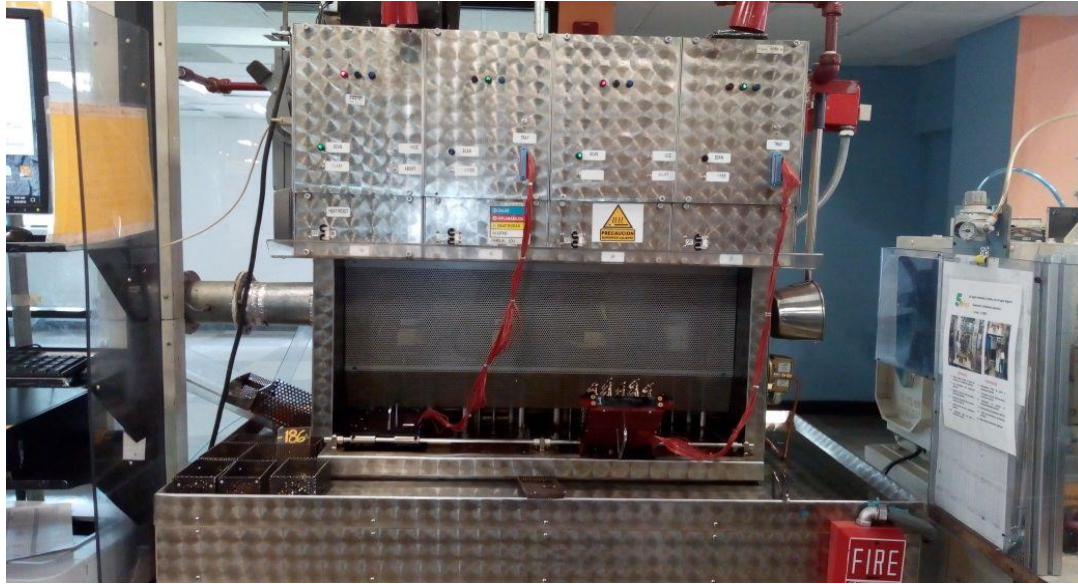


Fig. 12, Maquina SDC para prueba de disco. Fuente. Elaboración propia.



Fig. 13, Tinas de aceite para pruebas en maquina SDC. Fuente. Elaboración propia.

Como se comentó en el punto anterior, se realizó un estudio GRR para determinar la confiabilidad del sistema de medición en la maquina SDC. Con este estudio se comprueba si las lecturas de las piezas son repetibles y así determinar si el instrumento de medición es aceptable [14].

Para interpretar los gráficos que componen el resultado de este estudio, tenemos que [15]:

Componente de variación. - el primer grupo de barras muestra la variación total del estudio RR y se busca que este sea menor a 10%. El segundo grupo de barras muestra la variación del instrumento en cuestión (repetibilidad). El tercer grupo de barras muestra la variación entre del método (reproducibilidad) y el último grupo de barras muestra la variación de las piezas utilizadas en el estudio.

Carta de rangos. - En este grafico se analiza la repetibilidad, mostrando los intervalos donde las diferencias en las mediciones por cada herramental en trazada, si la diferencia entre el valor mayor y el más pequeño no excede el límite de control superior, el herramental se considera aceptable.

Carta de medias. - Los puntos deben estar fuera de los límites de control.

Gráfica de dispersión por partes. - Este grafico muestra los datos de las piezas analizadas trazándolas juntas.

Gráfica de caja y bigotes. - se muestra una caja por operador, ayuda a determinar si las mediciones y la variabilidad son uniformes entre operadores, la línea que conecta el promedio de las piezas debe ser horizontal, una pendiente importante es indicativo que el operador tiene una tendencia general en mayor o menos medida en comparación a los otros operadores.

Gráfica de interacción operador por parte. - muestra las mediciones promedio por cada operador para cada parte. Cada línea conecta los promedios de un operador. Lo ideal es que las líneas sean prácticamente iguales y los promedios de partes varíen suficientemente para que las diferencias entre partes sean claras.

Número de categorías distintivas. - representa el número de datos de grupos que el sistema de medición es capaz de distinguir en el estudio. Para que el sistema de medición sea aceptable el número debe ser mayor o igual a 5, de lo contrario implica que el sistema de medición sólo puede trabajar con datos de atributos.

El paquete estadístico Minitab ® fue utilizado para realizar el análisis e interpretación, basado en la siguiente tabla de criterios para el porcentaje de variación [16]:

Tabla 5. Criterios de aceptación del estudio GR&R. [16].

| GR&R (% Variación del Estudio) | Decisión |
|---|---|
| Abajo del 10 porciento | Considerado como aceptable para sistema de medición |
| Del 10 al 30 porciento | Aceptable para algunas aplicaciones |
| Arriba del 30% | Inaceptable |

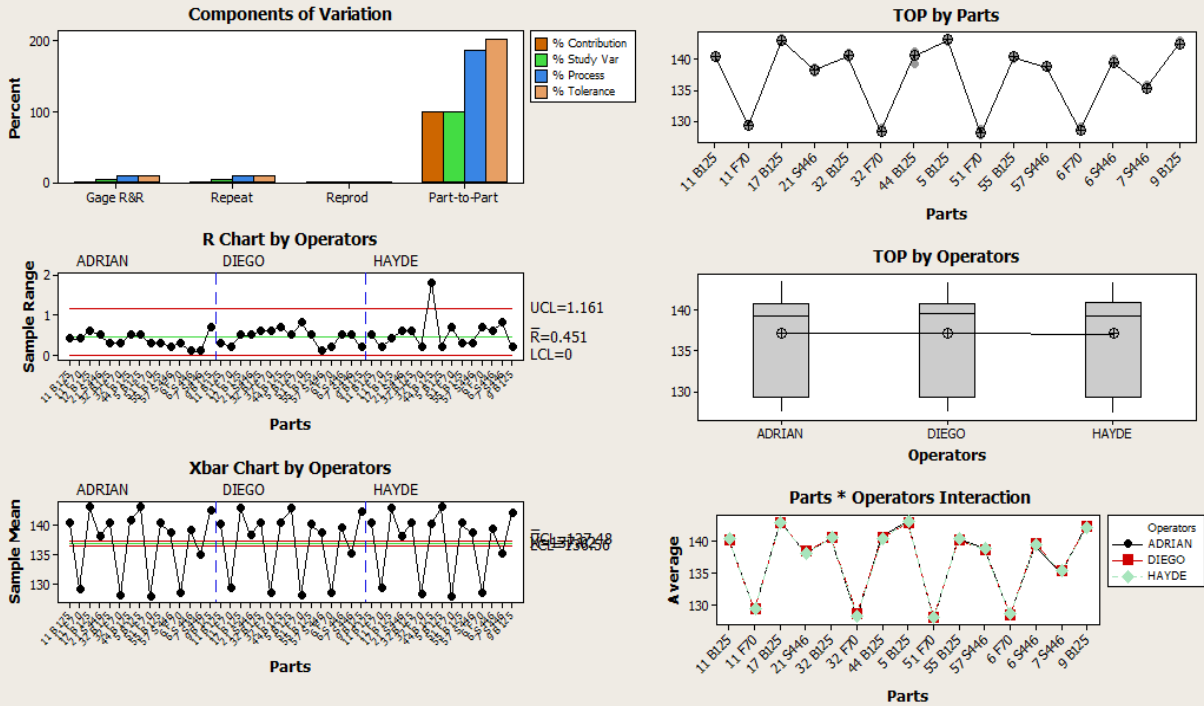
Después de realizar las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad en la maquina SDC para TOP y BOTTOM se obtuvieron los siguientes resultados, mostrados en las figuras 14 y 15.

En el caso de la prueba TOP, se puede observar en la imagen (fig. 14) el resultado total de GR&R es menor al 10% y una categoría distintiva de 28, y en el caso de BOTTOM (fig. 15) el 20% y categoría distintiva de 8. Además, en ambos casos se observa, en los gráficos de rango y media, menos del 50% de los puntos se encuentra fuera de los límites de control. En la gráfica de caja y bigotes la línea es casi completamente horizontal, lo que indica que los operadores están midiendo las piezas de forma similar, en promedio. Por último, en la gráfica de operador por parte las líneas son casi idénticas lo que indica de igual manera que los operadores miden las piezas de forma similar. Con base a estos resultados se puede concluir que el sistema de medición es confiable.

Gage R&R (ANOVA) for TOP

Gage name: 35HM ODD NEST GRR
 Date of study: 03-04 / APRIL / 2018

Reported by: DISC TEAM SMX
 Tolerance: 17 DEGREES
 Misc:



| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) | %Tolerance (SV/Toler) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|-------------|--------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| Total Gage R&R | 0.27837 | 1.6702 | 4.87 | 9.82 | 9.13 |
| Repeatability | 0.27837 | 1.6702 | 4.87 | 9.82 | 9.13 |
| Reproducibility | 0.00000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Operators | 0.00000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Part-To-Part | 5.71269 | 34.2762 | 99.88 | 201.62 | 187.30 |
| Total Variation | 5.71947 | 34.3168 | 100.00 | 201.86 | 187.52 |

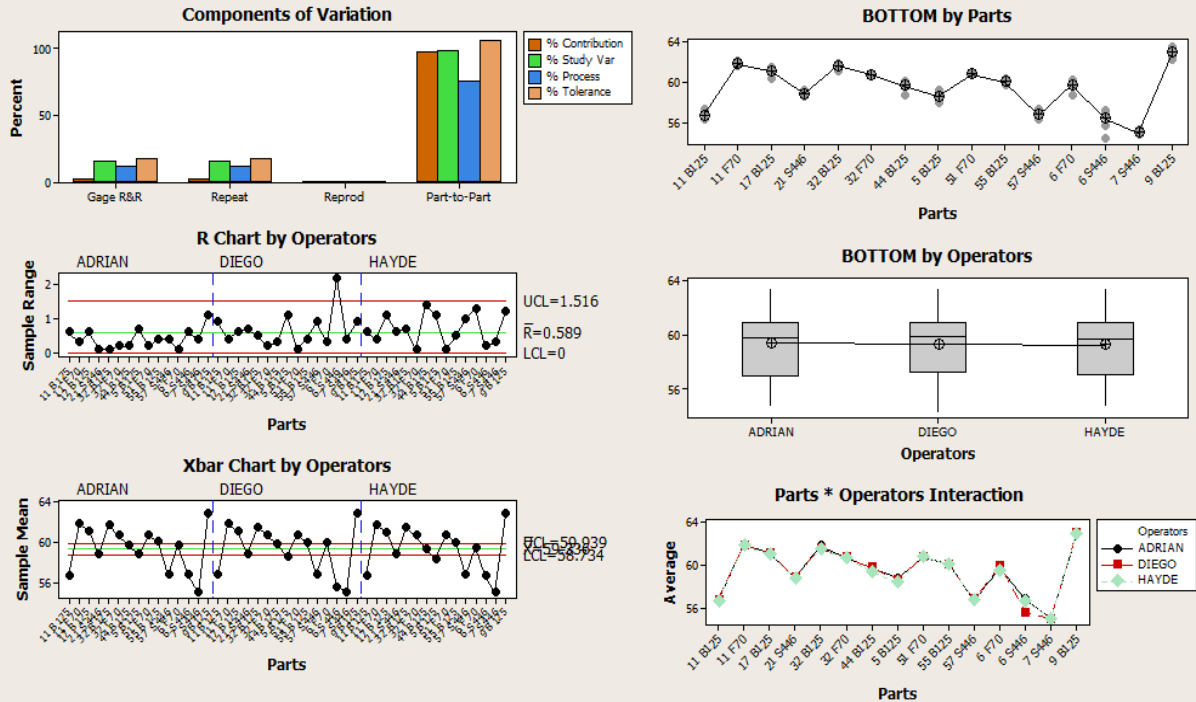
Number of Distinct Categories = 28

Fig. 14, Resultados estadísticos de estudio GR&R para TOP en la maquina SDC. Fuente. Elaboración propia.

Gage R&R (ANOVA) for BOTTOM

Gage name: 35HM ODD NEST GRR
Date of study: 03-04/ APRIL / 2018

Reported by: DISC TEMA SMX
Tolerance: 13 DEGREES
Misc:



| Source | StdDev (SD) | (6 * SD) | \$Study Var (\$SV) | \$Tolerance (SV/Toler) | \$Process (SV/Proc) |
|-----------------|-------------|----------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Total Gage R&R | 0.37306 | 2.2384 | 16.04 | 17.22 | 12.23 |
| Repeatability | 0.37252 | 2.2351 | 16.02 | 17.19 | 12.21 |
| Reproducibility | 0.02011 | 0.1206 | 0.86 | 0.93 | 0.66 |
| Operators | 0.02011 | 0.1206 | 0.86 | 0.93 | 0.66 |
| Part-To-Part | 2.29586 | 13.7751 | 98.71 | 105.96 | 75.26 |
| Total Variation | 2.32597 | 13.9558 | 100 | 107.35 | 76.26 |

Fig. 15, Resultados estadísticos de estudio GR&R para BOTTOM en la maquina SDC. Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Se realiza una comparación de corridas de prueba y de control a través de la línea. Para este análisis se recolectó información de 28 muestras del número de parte 4872-761 en el comprobador de discos SDC, con la finalidad de comprobar la variación en la media entre el disco del proveedor actual y del proveedor a validar. Los parámetros aceptables para un disco en esta prueba son los mostrados en la siguiente tabla (tabla. 6).

Tabla 6. Parámetros aceptables de discos en SDC. Fuente. Elaboración propia.

| Parámetros | | | |
|------------|-------|--------|-----|
| TOP | | BOTTOM | |
| HT | 171 | HB | 109 |
| LT | 154.5 | LB | 94 |

Los resultados de las 5 corridas de disco de 28 muestras del número de parte 4872-761 en el comprobador de discos SDC, con bimetálico del proveedor a validar, se muestran en la siguiente tabla (tabla. 7) posteriormente en la tabla 8 se observan los resultados de pruebas con bimetálico del proveedor actual:

Tabla 7. Resultado de pruebas con bimetálico de proveedor a validar. Fuente. Elaboración propia.

| 4872-761/HONG FENG | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--|
| TEST 1 | | | TEST 2 | | | TEST 3 | | | TEST 4 | | | TEST 5 | | | |
| DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | |
| 1 | 161.1 | 100.8 | 1 | 161.8 | 101.1 | 1 | 161.5 | 101.1 | 1 | 161.4 | 101 | 1 | 161.8 | 101.1 | |
| 2 | 163 | 101.7 | 2 | 161.8 | 101.7 | 2 | 161.2 | 101.7 | 2 | 161.1 | 101.5 | 2 | 161 | 101.6 | |
| 3 | 164.9 | 105 | 3 | 163.5 | 104.6 | 3 | 164.4 | 104.7 | 3 | 163.6 | 104.2 | 3 | 163 | 104 | |
| 4 | 161.6 | 100.3 | 4 | 160.3 | 100.2 | 4 | 160.6 | 100.3 | 4 | 160.6 | 100.2 | 4 | 160.2 | 100.2 | |
| 5 | 162.8 | 101.5 | 5 | 161.1 | 101.5 | 5 | 160.6 | 101.5 | 5 | 160.8 | 101.5 | 5 | 160.8 | 101.6 | |
| 6 | 163.8 | 103.6 | 6 | 162.7 | 103.2 | 6 | 162 | 103.2 | 6 | 161.8 | 103.1 | 6 | 161.6 | 103.1 | |
| 7 | 162.9 | 102.1 | 7 | 162.2 | 102.2 | 7 | 162.3 | 102.3 | 7 | 162 | 102.1 | 7 | 161.8 | 102.1 | |
| 8 | 161.2 | 98.9 | 8 | 160.3 | 99.1 | 8 | 159.7 | 99 | 8 | 160 | 99.1 | 8 | 159.1 | 99.1 | |
| 9 | 164.9 | 106 | 9 | 164 | 106.1 | 9 | 163.8 | 105.7 | 9 | 164.1 | 106.1 | 9 | 164 | 105.5 | |
| 10 | 157.9 | 99.7 | 10 | 158.7 | 99.7 | 10 | 158.6 | 99.7 | 10 | 158.6 | 99.8 | 10 | 158.6 | 99.7 | |
| 11 | 161 | 100.9 | 11 | 160.8 | 100.9 | 11 | 159.6 | 100.9 | 11 | 160.1 | 100.9 | 11 | 160.2 | 100.9 | |
| 12 | 162.4 | 102 | 12 | 161.3 | 102.1 | 12 | 161.1 | 102.1 | 12 | 161.2 | 102.1 | 12 | 161 | 102.2 | |
| 13 | 161.1 | 100.5 | 13 | 161.1 | 100.8 | 13 | 160.8 | 100.8 | 13 | 161 | 101 | 13 | 160.8 | 101 | |
| 14 | 163.3 | 104.1 | 14 | 163.5 | 104.2 | 14 | 162.3 | 103.9 | 14 | 162.8 | 103.9 | 14 | 161.7 | 104 | |
| 15 | 162.4 | 102.9 | 15 | 161.6 | 103 | 15 | 161.5 | 103.1 | 15 | 161.2 | 102.9 | 15 | 161.2 | 102.9 | |
| 16 | 163.7 | 104.9 | 16 | 163.6 | 105.3 | 16 | 162.7 | 105.2 | 16 | 163.1 | 105.3 | 16 | 163.7 | 105.1 | |
| 17 | 164 | 102.4 | 17 | 162.8 | 102.5 | 17 | 162.5 | 102.4 | 17 | 162.4 | 102.4 | 17 | 162.1 | 102.4 | |
| 18 | 160.2 | 99.8 | 18 | 159.3 | 99.6 | 18 | 158.5 | 99.6 | 18 | 158.3 | 99.6 | 18 | 158.3 | 99.6 | |
| 19 | 161.9 | 101.3 | 19 | 160.9 | 101.4 | 19 | 160.5 | 101.4 | 19 | 160.1 | 101.4 | 19 | 160.2 | 101.3 | |
| 20 | 162 | 100.3 | 20 | 160.7 | 100.1 | 20 | 160.1 | 100.1 | 20 | 159.7 | 99.9 | 20 | 159.5 | 99.8 | |
| 21 | 163.5 | 100.7 | 21 | 161.9 | 100.7 | 21 | 161.5 | 100.8 | 21 | 161.5 | 100.7 | 21 | 161.2 | 100.8 | |
| 22 | 162.9 | 103.5 | 22 | 162.3 | 103.6 | 22 | 162.8 | 103.5 | 22 | 162.7 | 103.5 | 22 | 162.6 | 103.5 | |
| 23 | 160.7 | 99 | 23 | 160.2 | 99.2 | 23 | 160 | 99.2 | 23 | 159.9 | 99.2 | 23 | 159.9 | 99 | |
| 24 | 160.4 | 97 | 24 | 158.6 | 96.8 | 24 | 158.2 | 97 | 24 | 157.8 | 96.9 | 24 | 158.5 | 97.1 | |
| 25 | 159.4 | 97.9 | 25 | 159 | 97.7 | 25 | 159 | 97.8 | 25 | 158.9 | 97.4 | 25 | 158.3 | 97.9 | |
| 26 | 162.9 | 102.7 | 26 | 162.8 | 102.8 | 26 | 162.5 | 102.8 | 26 | 162.4 | 102.8 | 26 | 162.3 | 102.9 | |
| 27 | 163.6 | 103 | 27 | 163.1 | 103.1 | 27 | 162.8 | 103.1 | 27 | 162.7 | 102.9 | 27 | 162.2 | 103.1 | |
| 28 | 161.1 | 100.1 | 28 | 160.6 | 100.2 | 28 | 160.7 | 100.2 | 28 | 160.6 | 100.2 | 28 | 160.2 | 100.3 | |
| Total | 28 | 27 | Total | 28 | 27 | Total | 27 | 27 | Total | 28 | 28 | Total | 26 | 25 | |
| MEAN | 162.2 | 101.4 | MEAN | 161.4 | 101.5 | MEAN | 160.9 | 101.4 | MEAN | 161 | 101.5 | MEAN | 160.6 | 101.1 | |
| SIGMA | 1.652 | 2.162 | SIGMA | 1.504 | 2.193 | SIGMA | 1.38 | 2.113 | SIGMA | 1.53 | 2.188 | SIGMA | 1.292 | 1.767 | |

Tabla 8. Resultado de pruebas con bimetal de proveedor actual. Fuente. Elaboración propia.

| 4872-761/Grupo Control | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| TEST 1 | | | TEST 2 | | | TEST 3 | | | TEST 4 | | | TEST 5 | | |
| DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM | DISK | TOP | BOTTOM |
| 1 | 165.9 | 104.8 | 1 | | 105 | 1 | 165.2 | 105 | 1 | 165.1 | 105 | 1 | 164.8 | 105 |
| 2 | 163.7 | 102 | 2 | 163.1 | 102.1 | 2 | 163.3 | 101.9 | 2 | 162.8 | 101.9 | 2 | 162.7 | 102 |
| 3 | 163.6 | 102.3 | 3 | 163.5 | 102.4 | 3 | 163.4 | 102.4 | 3 | 163.2 | 102.2 | 3 | 162.9 | 102.3 |
| 4 | 164.2 | 102 | 4 | 163.4 | 102 | 4 | 163.4 | 102.2 | 4 | 163.2 | 102 | 4 | 163.1 | 102.1 |
| 5 | 164.5 | 104 | 5 | 163.7 | 103.9 | 5 | 163.5 | 103.8 | 5 | 163.3 | 103.9 | 5 | 163.3 | 104 |
| 6 | 162.3 | 100.4 | 6 | 161.7 | 100.4 | 6 | 161.8 | 100.4 | 6 | 161.5 | 100.4 | 6 | 161.3 | 100.5 |
| 7 | 165.8 | 105.9 | 7 | 165.4 | 105.9 | 7 | 165.8 | 105.9 | 7 | 165.8 | 106.1 | 7 | 165.7 | 106.1 |
| 8 | 163.7 | 101.4 | 8 | 162.7 | 101.5 | 8 | 162.7 | 101.5 | 8 | 162.6 | 101.4 | 8 | 162.4 | 101.5 |
| 9 | 163.2 | 100.3 | 9 | 162.7 | 100.6 | 9 | 162.8 | 100.7 | 9 | 162.6 | 100.7 | 9 | 162.5 | 100.8 |
| 10 | 163 | 99.3 | 10 | 163.1 | 99.3 | 10 | 162.9 | 99.4 | 10 | 162.6 | 99.4 | 10 | 162.6 | 99.3 |
| 11 | 163.3 | 102 | 11 | 163.4 | 102.1 | 11 | 163.3 | 102.1 | 11 | 163.3 | 102.1 | 11 | 163.2 | 102.1 |
| 12 | 165.1 | 105.9 | 12 | 164.4 | 106 | 12 | 164.3 | 106 | 12 | 164.1 | 106 | 12 | 164 | 106 |
| 13 | 162.4 | 100.6 | 13 | 162.1 | 100.7 | 13 | 162.2 | 100.8 | 13 | 162 | 100.8 | 13 | 162.1 | 100.8 |
| 14 | 165.9 | 105 | 14 | 165.2 | 105 | 14 | 165.4 | 104.8 | 14 | 164.7 | 104.9 | 14 | 164.9 | 105.1 |
| 15 | 165.7 | 105.9 | 15 | 165 | 105.8 | 15 | 164.8 | 105.9 | 15 | 164.5 | 105.8 | 15 | 164.6 | 105.9 |
| 16 | 163.3 | 101.7 | 16 | 163.5 | 101.9 | 16 | 163.5 | 102 | 16 | 163.3 | 102.1 | 16 | 163.2 | 102 |
| 17 | 165.1 | 104.2 | 17 | 164.7 | 104.3 | 17 | 164.6 | 104.3 | 17 | 164.4 | 104.4 | 17 | 164.4 | 104.4 |
| 18 | 163.7 | 102.4 | 18 | 163 | 102.2 | 18 | 162.7 | 102.3 | 18 | 162.6 | 102.3 | 18 | 162.6 | 102.2 |
| 19 | 164.4 | 101.4 | 19 | 163.8 | 101.4 | 19 | 163.7 | 101.5 | 19 | 163.5 | 101.5 | 19 | 163.4 | 101.6 |
| 20 | 165 | 104.2 | 20 | 164.4 | 104.2 | 20 | 164.7 | 104.3 | 20 | 164.8 | 104.5 | 20 | 164.5 | 104.3 |
| 21 | 165.4 | 104.5 | 21 | 164.5 | 104.2 | 21 | 164.5 | 104.2 | 21 | 164.1 | 104.5 | 21 | 164.1 | 104.3 |
| 22 | 162.4 | 101.2 | 22 | 162.6 | 101.2 | 22 | 162.6 | 101.3 | 22 | 162.7 | 101.3 | 22 | 162.7 | 101.4 |
| 23 | 164.7 | 103.4 | 23 | 164.2 | 103.2 | 23 | 164 | 103.1 | 23 | 163.7 | 103.1 | 23 | 163.6 | 103.2 |
| 24 | 163.7 | 102.3 | 24 | 163.2 | 102.4 | 24 | 163.1 | 102.5 | 24 | 163.1 | 102.6 | 24 | 163.3 | 102.6 |
| 25 | 163.5 | 103.4 | 25 | 163.7 | 103.4 | 25 | 163.7 | 103.6 | 25 | 163.6 | 103.7 | 25 | 163.5 | 103.7 |
| 26 | 164.6 | 106 | 26 | 164.6 | 105.9 | 26 | 164.6 | 106 | 26 | 164.4 | 106 | 26 | 164.4 | 106 |
| 27 | 163.7 | 103.3 | 27 | 163.2 | 103.3 | 27 | 163.2 | 103.4 | 27 | 163.1 | 103.4 | 27 | 163 | 103.4 |
| 28 | 164 | 102.5 | 28 | 163.4 | 102.6 | 28 | 163.6 | 102.7 | 28 | 163.5 | 102.7 | 28 | 163.4 | 102.8 |
| Total | 28 | 28 | Total | 28 | 28 | Total | 28 | 28 | Total | 28 | 28 | Total | 28 | 28 |
| MEAN | 164.1 | 102.9 | MEAN | 163.7 | 103 | MEAN | 163.7 | 103 | MEAN | 163.5 | 103 | MEAN | 163.4 | 103 |
| SIGMA | 1.063 | 1.89 | SIGMA | 0.925 | 1.851 | SIGMA | 0.962 | 1.836 | SIGMA | 0.958 | 1.861 | SIGMA | 0.965 | 1.861 |

Utilizando la herramienta estadística MINITAB se realiza el análisis de los dos grupos de prueba, con el fin de determinar si la variabilidad entre la media influye significativamente.

La figura 16 muestra el reporte diagnóstico que arroja la prueba *t-Student*, la cual nos ayuda a determinar si la media de dos poblaciones son diferentes entre sí, el análisis se realiza de forma visual, se aprecia dónde están las piezas más alejadas del resto de la población y donde se acumulan entre ellas, en este caso se puede observar que las piezas del grupo Hong Feng, aunque los valores están dentro de los parámetros, tienen una distribución más abierta y los valores tienden tanto al límite superior como al inferior a comparación del grupo de control, su distribución es menor y los valores tienden más al límite superior; posteriormente se presenta un análisis de la oportunidad de detectar una diferencia entre las medias de las dos poblaciones, expresada en porcentaje de acuerdo a un alfa de 0.05, es decir, la diferencia entre las medias y a

su vez el porcentaje, mayor porcentaje mayor probabilidad de detectar una diferencia entre las poblaciones, lo que se conoce como potencia.

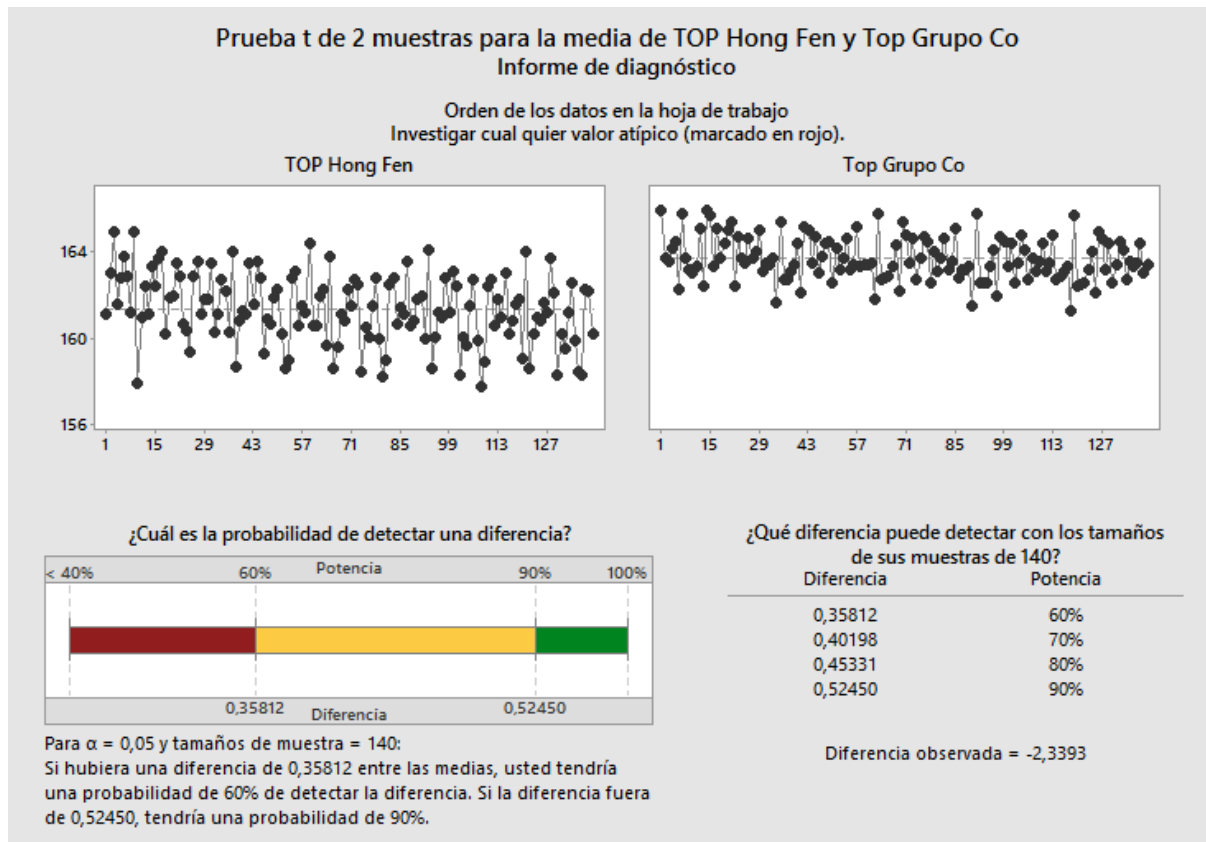


Fig. 16, Reporte diagnóstico para la media de TOP. Fuente. Elaboración propia.

La figura 17 muestra el resumen de la prueba t-Student, da la respuesta si las medias del grupo 1 y grupo 2 son diferentes, en este caso lo que respecta al bimetal del proveedor actual y del nuevo, la respuesta es sí, sí existe una diferencia estadística significativa entre las muestras, la diferencia de las medias es de -2.3393, en la parte central del reporte se observa el intervalo de confianza de la diferencia de las 2 medias, el cual cuantifica la incertidumbre de la diferencia de las dos muestras; por último se tiene los histogramas de cada una de las muestras resaltando dónde se ubica la media de cada grupo a través de un punto rojo, esto es muy útil para dar soporte de una mejor manera el resultado de la prueba.

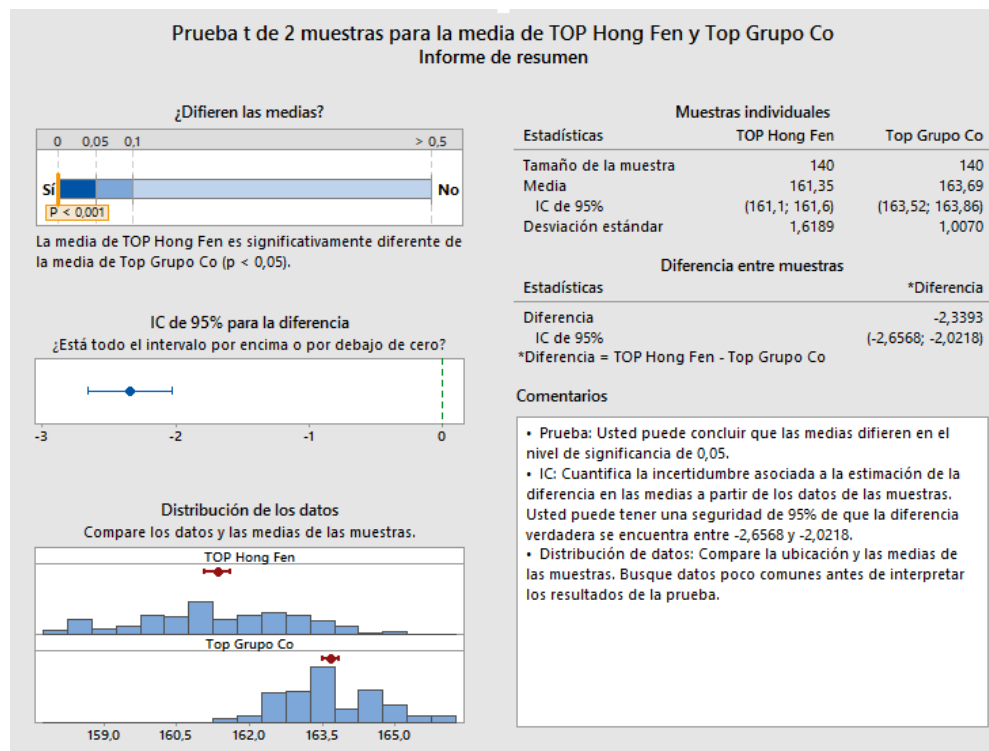


Fig. 17, Resumen de la prueba t, para la media de TOP. Fuente. Elaboración propia.

Las dos figuras mostradas anteriormente son el resultado de la comparación de las medias de TOP, o sea la apertura del disco, ahora se analiza el BOTTOM, es decir, el cierre del disco.

En la figura 18 se observa que las piezas del grupo Hong Feng, aunque los valores se mantienen dentro de los parámetros establecidos, tienen una distribución más abierta y los valores tienden tanto al límite superior como al inferior a comparación del grupo de control, su distribución es menor y los valores no tienden tanto al límite inferior; posteriormente se presenta un análisis de la oportunidad de detectar una diferencia entre las medias de las dos muestras, expresada en porcentaje de acuerdo a un alfa de 0.05.

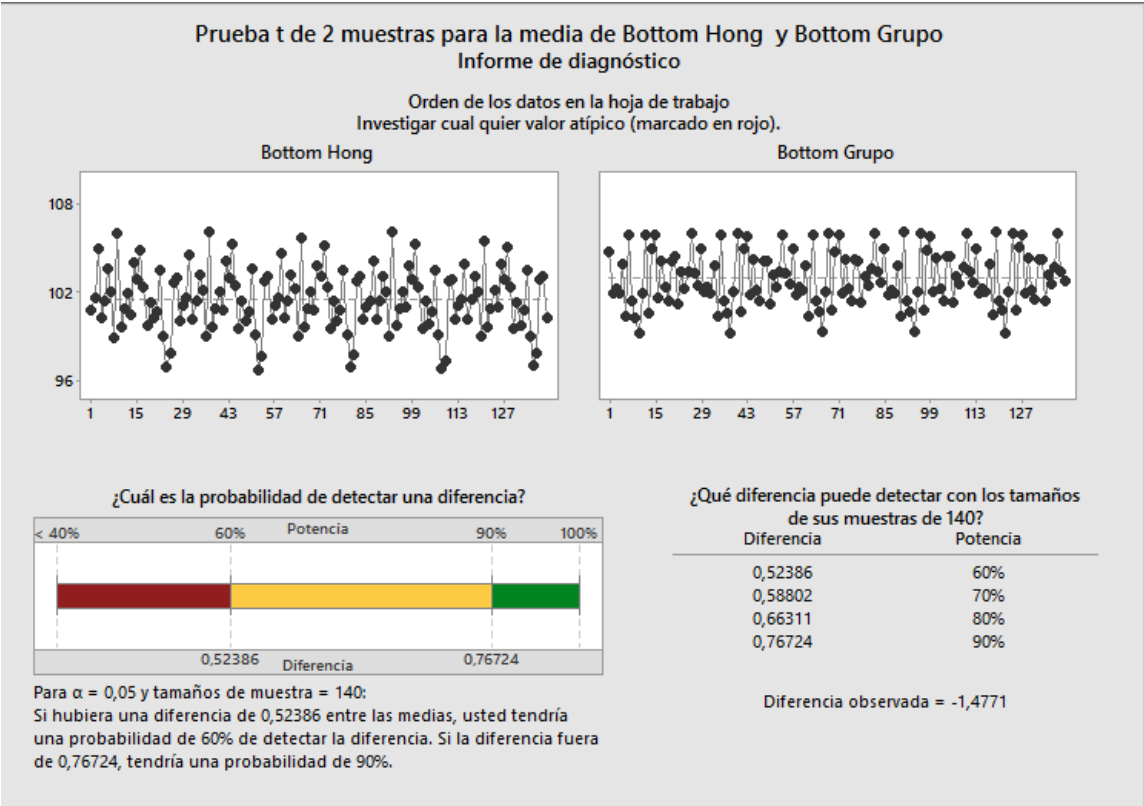


Fig. 18, Reporte diagnóstico para la media de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia.

La figura 19 muestra el resumen de la prueba t-Student, da la respuesta si las medias del grupo 1 y grupo 2 son diferentes, en esta caso lo que respecta a las medias del BOTTOM o cierre del disco de las muestras del bimetálico del proveedor actual y del nuevo, sí existe una diferencia estadística significativa entre las dos muestras, la diferencia de las medias es de -1.4771, en la parte de abajo, se tienen los histogramas de cada una de las muestras resaltando dónde se ubica la media de cada grupo a través de un punto rojo.

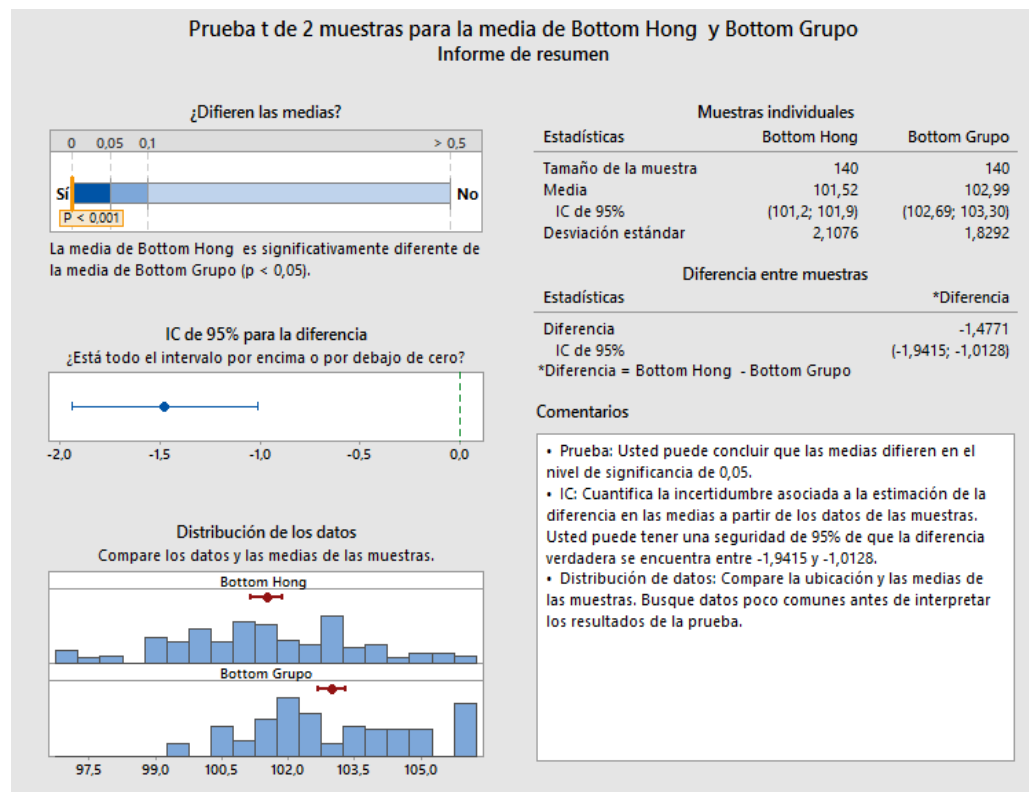


Fig. 19, Resumen de la prueba t, para la media de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia.

En las gráficas mostradas anteriormente (fig. 16, 17, 18 y 19) se analizaron las medias de los grupos de datos, ahora se comprobará la diferencia estadística significativa de la desviación estándar.

En la figura 20 se presenta el reporte diagnóstico arrojado por MINITAB para los datos de TOP de ambos grupos. Se observa al igual que con la media, que los valores del disco con bimental de hong feng tienen mayor dispersión a comparación del proveedor actual, los datos se agrupan más y se inclinan hacia el límite superior.

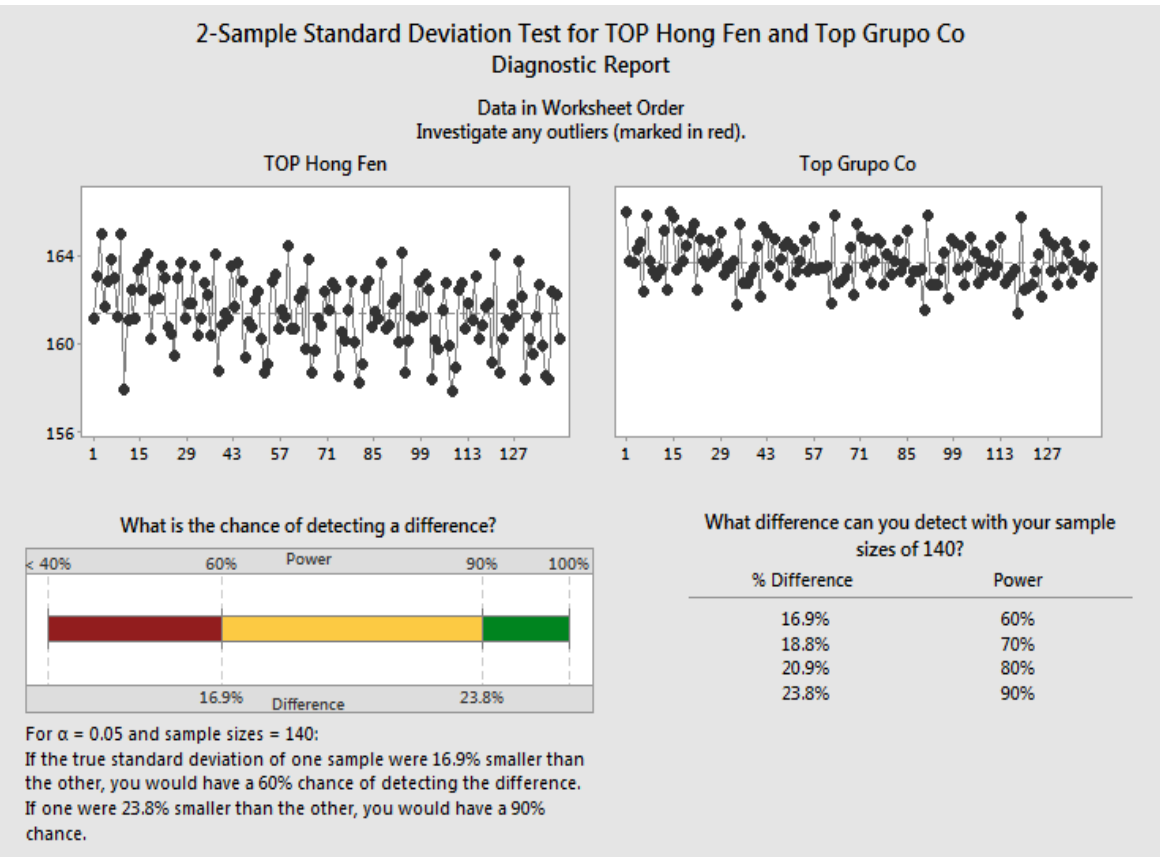


Fig. 20, Reporte diagnóstico de la prueba t, para la desviación estándar de TOP. Fuente. Elaboración propia.

La figura 21 representa el reporte de la prueba t para la desviación estándar de apertura del disco (TOP) y confirma que los datos de las muestras tienen una diferencia significativa. La desviación estándar de hong feng es de 1.6189 mientras que el grupo de control es de 1.0070.

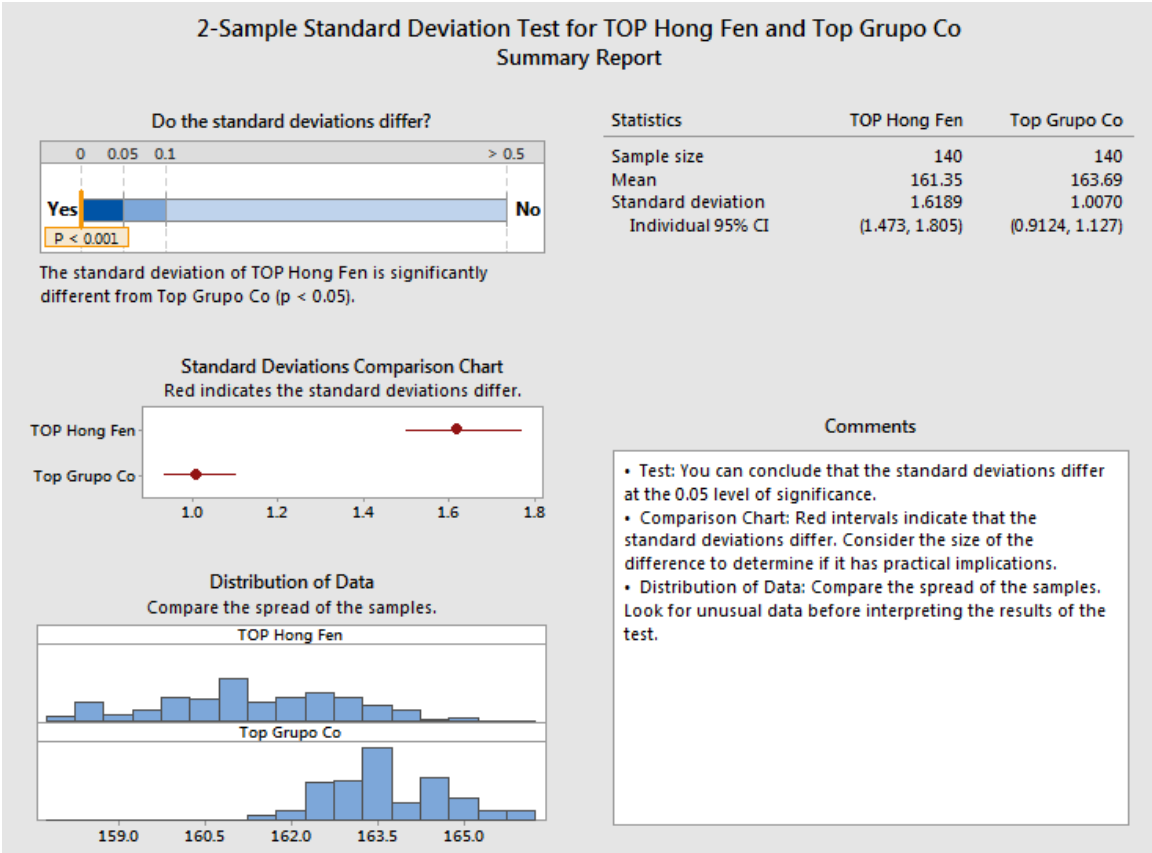


Fig. 21, Resumen de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM. Fuente. Elaboración propia.

En la figura 22 se tiene el reporte diagnóstico para comprobar si existe diferencia significativa entre la desviación estándar del cierre del disco (BOTTOM) de ambos grupos. En este caso, gráficamente se observa que el grupo de control tiene una dispersión menor a la de hong feng, aunque ninguno de los casos muestra valores atípicos ni se sale de los límites.

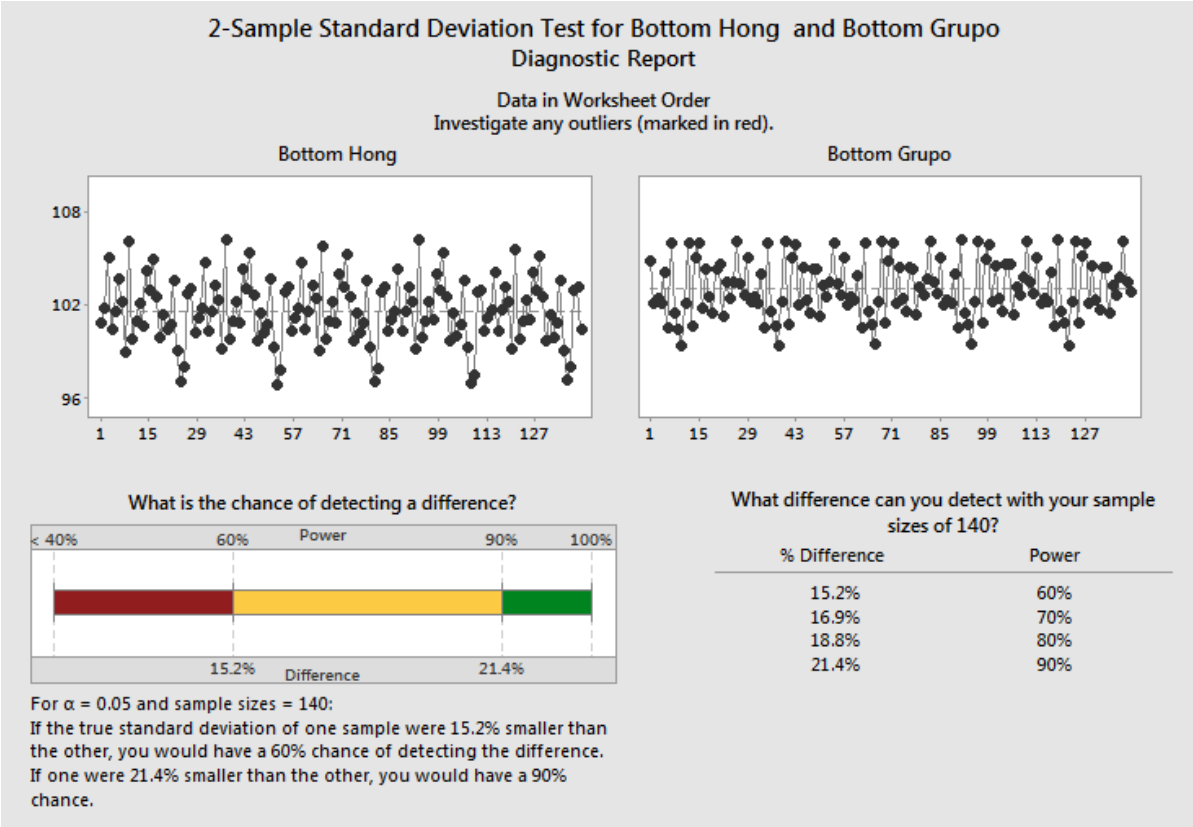


Fig. 22, Reporte diagnóstico de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM.
Fuente. Elaboración propia.

En la figura 23 representa el reporte de la prueba t para la desviación estándar de cierre del disco (BOTTOM) y en este caso, no se tiene suficiente evidencia para concluir que la desviación estándar de los datos tiene una diferencia significativa con un intervalo de confianza del 95%. La desviación estándar de hong feng es de 2.1076 mientras que el grupo de control es de 1.8292.

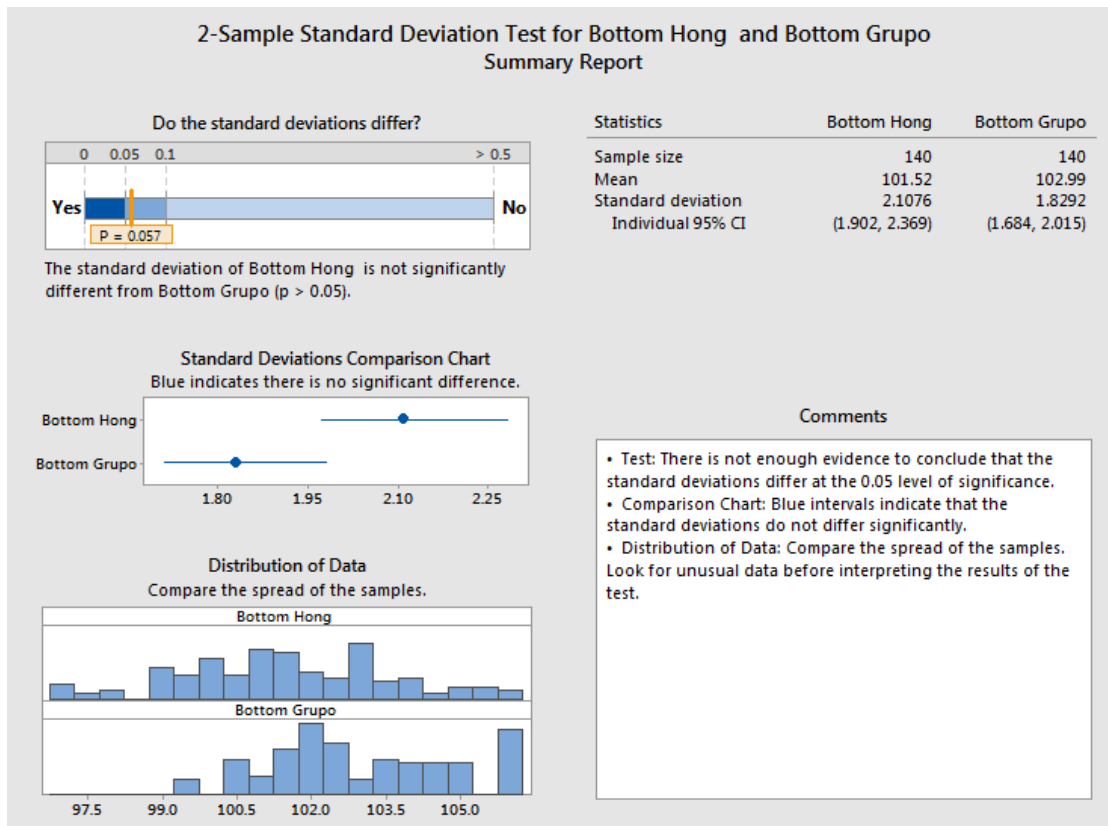


Fig. 23, Resumen de la prueba t, para la desviación estándar de BOTTOM.
Fuente. Elaboración propia.

En base a los resultados de esta primera prueba, se puede concluir que el bimetalo de hong feng muestra mayor dispersión en los tiempos de TOP y BOTTOM, en las temperaturas así que se requiere mejorar el rendimiento, si bien es aceptable y puede ser calificado la investigación se profundiza y se decide continuar para mejorar su rendimiento.

Puesto que la materia prima de Hong feng requiere mejorar su rendimiento aun estando físicamente dentro de especificación no se calificó, aun estando físicamente dentro de especificación se centra la investigación en la estructura metálica.

Basado en los resultados de la primera muestra de Hong Feng y basado en estudios anteriores [17] donde menciona que “el tamaño del grano juega un papel importante en las propiedades de expansión térmica total, lo que proporciona una forma prometedora de lograr una amplia gama de valores de CTE en aleaciones de invar”. Por ende, se mide el tamaño de grano del actual proveedor y se pide una segunda muestra a HF con mayor tamaño de grano. La primera muestra del proveedor tenía un tamaño de grano 6, la cual no fue calificada, el tamaño de la segunda muestra se incrementa a 9.1 como se muestra en la figura 24 y también el tamaño de grano de la muestra del actual proveedor.

Para poder controlar cómo modificar el tamaño de grano se aseguran parámetros de revenido en proveedor después del Bonding en el proceso de fabricación de la cinta de bimetalo. Después del bonding hasta 70% y recocido posterior a 750 ° C, los compuestos de Cu / Invar de Cu 40% tienen propiedades integrales finas, por ejemplo, una densidad relativa de 98.6%, una resistencia a la tracción de 360 MPa, una tasa de elongación del 50%, una conductividad térmica de 25.42 W / (m · K). Además, el tamaño de grano en los compuestos durante el recocido se reduce, es decir, se produce el refinamiento del grano de recristalización [18].

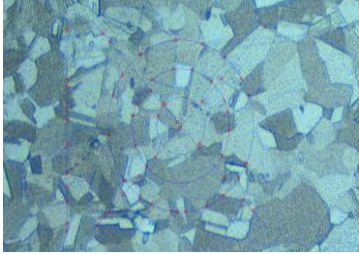
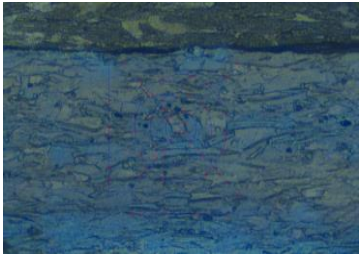
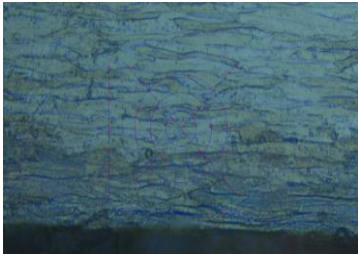
| Tamaño de Grano | | |
|---|--|---|
| HF | EMS | |
| Condicion y Tamaño de Grano | | |
| Despues de revenido Final | Producto Final | Producto Final |
| Tanamaño de Grano: 8.4 | Tanamaño de Grano: 9.1 | Tanamaño de Grano: 8 |
|  |  |  |

Fig. 24, Tamaño de grano bimetel hong feng. Fuente. Elaboración propia.

Al obtener esta conclusión, se pide a Hong Feng realizar algunas modificaciones en la estructura química del bimetel, aumentando el tamaño de grano, las muestras con esta modificación se reciben y se hace la prueba nuevamente, los resultados fueron los siguientes:

En la figura 25 se observa el reporte de la prueba t para la desviación estándar de cierre del disco (BOTTOM) con las nuevas pruebas, en este caso se observa que no existe diferencia entre la desviación estándar de ambos bimetales.

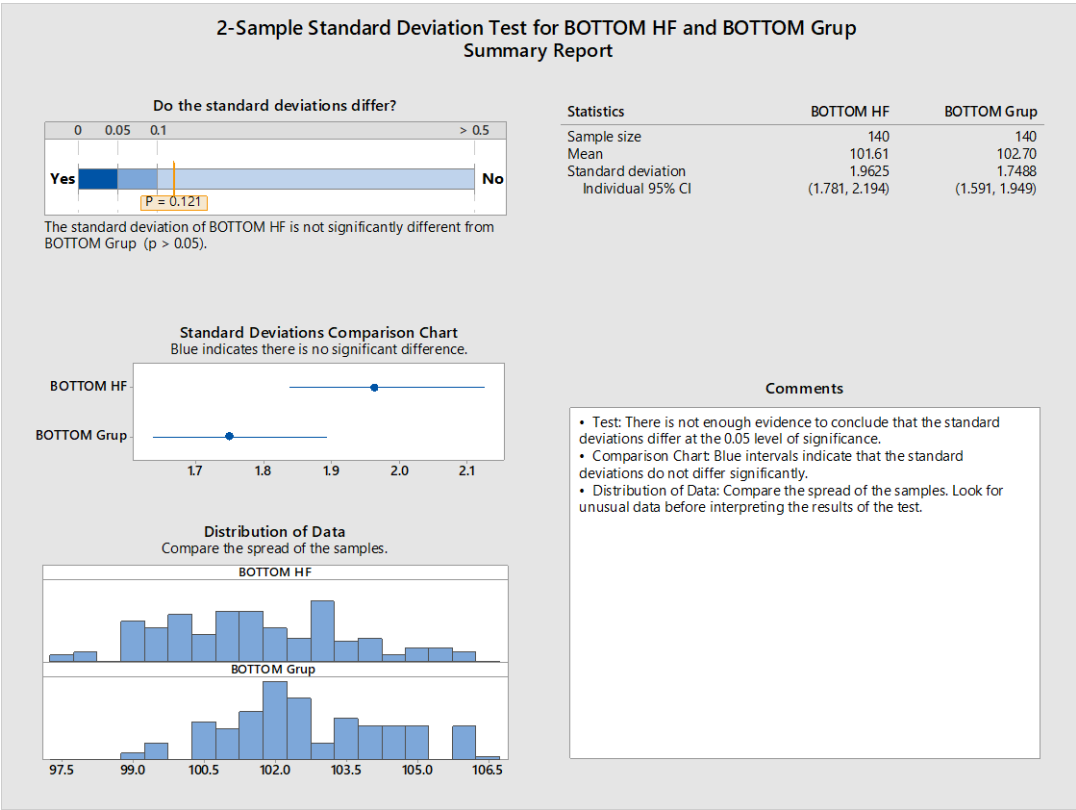


Fig. 25, Resumen de la prueba t, para bottom después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia.

En la figura 26 se tiene el reporte diagnóstico para comprobar si existe diferencia significativa entre la desviación estándar del cierre del disco (BOTTOM) de ambos grupos. Con esto se comprueba que no existe diferencia entre la desviación estándar, las muestras se comportan de igual forma.

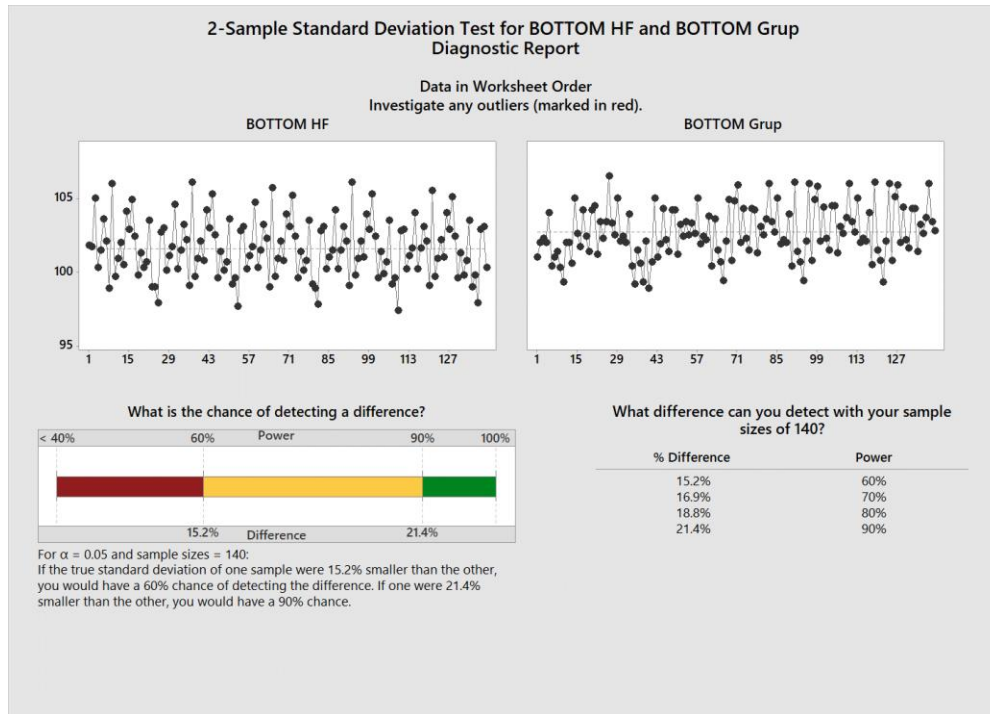


Fig. 26, Reporte diagnóstico para bottom después del cambio de grano.
Fuente. Elaboración propia.

La figura 27 representa el reporte de la prueba t para la desviación estándar de apertura del disco (TOP) y se observa que los datos de las nuevas muestras, después de cambiar el tamaño de grano del bimetetal, no tienen una diferencia significativa. La desviación estándar de hong feng es de 0.9158 mientras que el grupo de control es de 0.95906

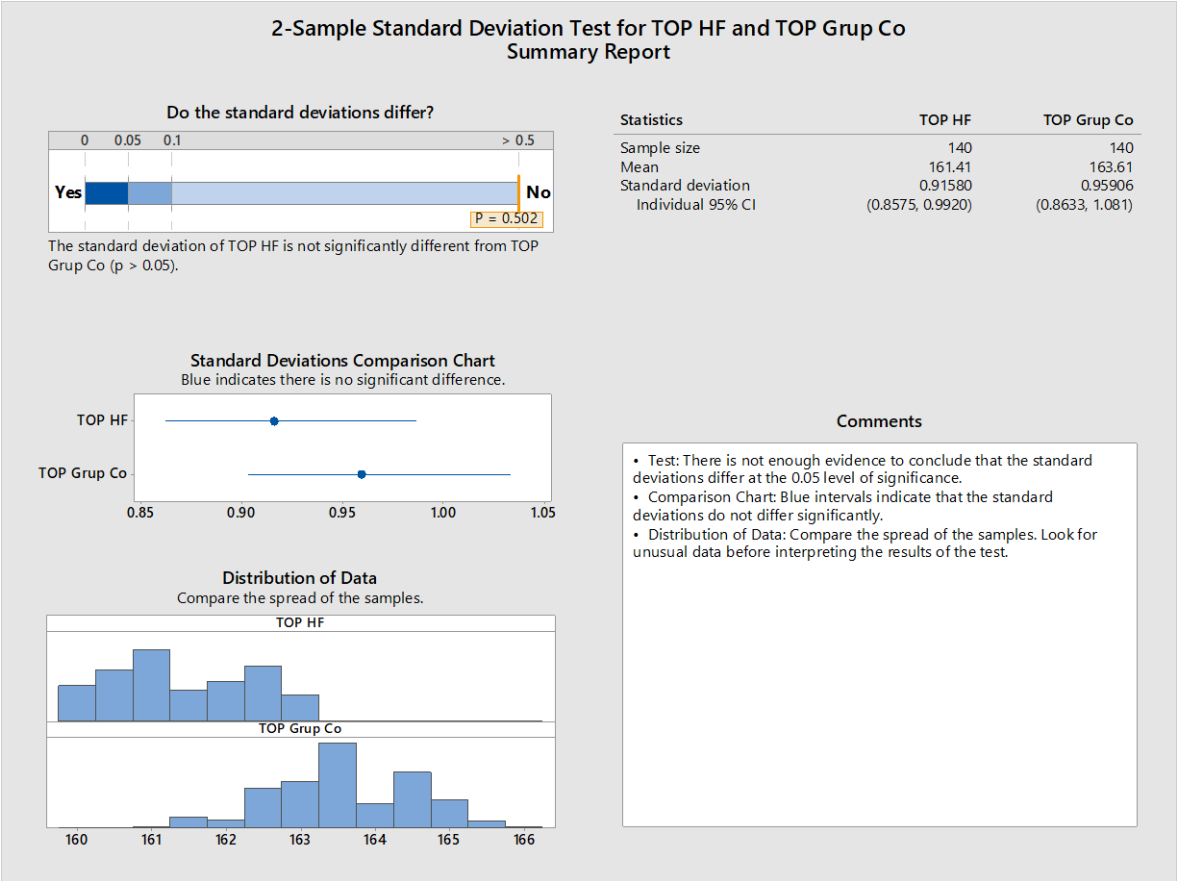


Fig. 27, Resumen de la prueba t, para top después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia.

En la figura 28 se presenta el reporte diagnóstico arrojado por MINITAB para los datos de TOP de ambos grupos. Se observa que los valores del disco con bimetetal de hong feng y del grupo de control se comportan de igual forma.

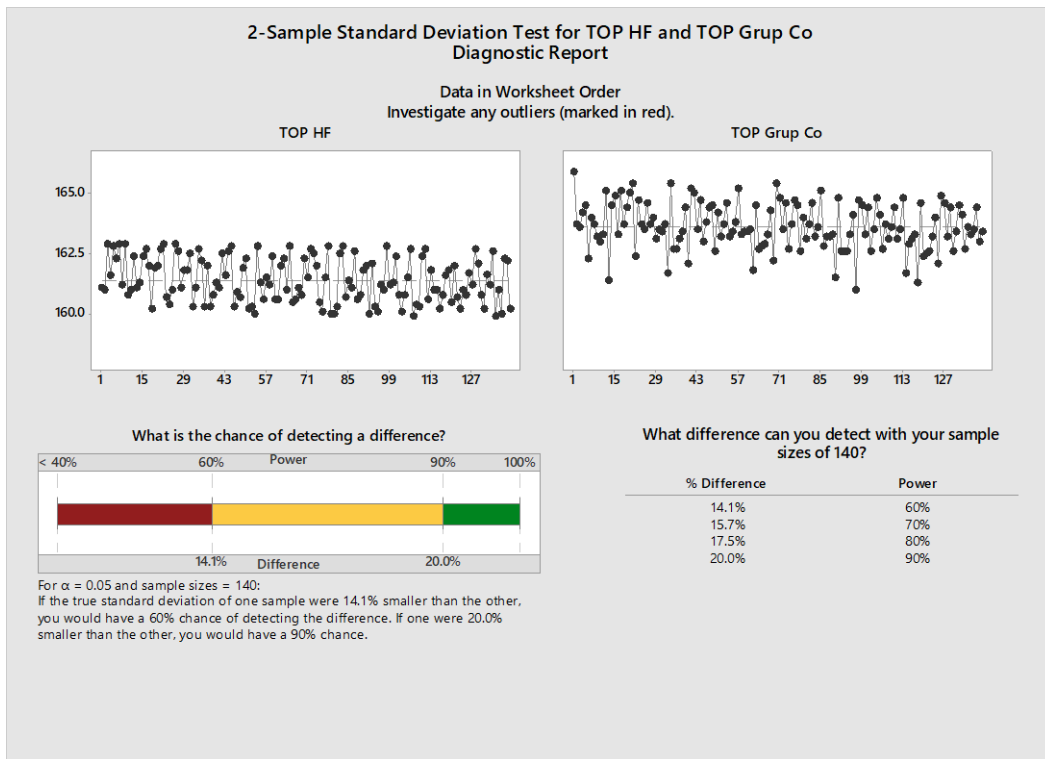


Fig. 28, Reporte diagnóstico para top después del cambio de grano. Fuente. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Al poder validar el desempeño del Disco para los moto-protectores proveniente del nuevo proveedor e implementarlo en el producto, se abre el campo de la competencia entre proveedores de disco para SENSATA, estableciendo mejores condiciones de mercado creando ambiente de competitividad, esto mismo conlleva a incremento en la oportunidad para ofrecer un mejor producto al cliente final, y el sostenimiento de SENSATA en el mercado para la generación de empleo en Aguascalientes México, y continuar con el liderazgo y desarrollo tecnológico local.

Como cierre de la presente tesis, se debe recalcar que, el objetivo principal de este trabajo que conllevó cada una de las secciones incluidas a lo largo de los capítulos, fue alcanzado de manera satisfactoria. Para cubrir tal objetivo fue de vital importancia tener conocimientos del material del nuevo proveedor para poder asegurar que el producto cumplirá con los requisitos, ya que el material adquirido tiene completo impacto sobre el producto final. El tratar con proveedores nuevos, representa un riesgo para la organización por lo que en esta investigación se realizó un proceso para su evaluación en base a parámetros definidos por sensata, en el cual se evaluaron las especificaciones dimensionales, mecánicas y químicas del bimetal, previamente realizando un estudio gage r&r en el cual se comprobó la efectividad del sistema de medición.

Con los resultados estadísticos obtenidos de las primeras pruebas para la evaluación del proveedor, se pudo observar que el disco spencer presentó una mayor dispersión en su apertura y cierre, así y con base a estudios anteriormente mencionados [17], se determinó la causa potencial del problema de variación del disco. Se logró establecer que el proveedor debe mejorar el tamaño de grano en el bimetal, esta información se les comunicó y aceptaron tomar medidas, cambiando el tamaño de grano de 8 a 9.1. Esta acción repercutió de manera favorable al resultado de las segundas pruebas realizadas después de la modificación en el material y así se aseguró que el proveedor puede cumplir con las exigencias requeridas por sensata, por lo que se tiene la información suficiente para aceptar la hipótesis planteada, es posible validar el desempeño de un Disco Spencer fabricado por bimetal de un nuevo proveedor para

el proceso de fabricación de los moto protectores, en la empresa Sensata Technologies Ags.

APORTACION DE LA TESIS

Al poder validar el desempeño del Disco para los moto-protectores proveniente del nuevo proveedor e implementarlo en el producto, se abre el campo de la competencia entre proveedores de disco para SENSATA, estableciendo mejores condiciones de mercado creando ambiente de competitividad, esto mismo conlleva a incremento en la oportunidad para ofrecer un mejor producto al cliente final, y el sostenimiento de SENSATA en el mercado para la generación de empleo en Aguascalientes México, y continuar con el liderazgo y desarrollo tecnológico local.

APORTACION SOCIAL DE LA TESIS

Como se menciona en el apartado anterior, el sostenimiento de SENSATA en el mercado ha generado crecimiento y generación de empleo en Aguascalientes posicionándose como el segundo empleador a nivel estado, el crecimiento de sensata a nivel local en los últimos 3 años ha sido de 60% plantilla laboral, esto gracias a la suma de las aportaciones estratégicas implementadas por ingenieros locales, que gracias la formación recibida en las instituciones de educación e investigación logran sus objetivos dentro de las empresas, como ejemplo en la presente tesis.

RECOMENDACIONES

Basado en el desempeño mostrado durante la validación del bimetal procedente del nuevo proveedor se recomienda comenzar con la introducción del producto.

Así teniendo al menos 2 proveedores seleccionados para un tipo de suministro, estará preparada en el caso de que alguno de ellos no pueda cumplir los requerimientos solicitados en un momento determinado, así mismo se podrá evaluar a cada uno con mayor objetividad teniendo parámetros de comparación. Contar con proveedores alternativos permite afrontar contingencias en la actividad logística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Centro de Estudios Cervantinos. *Website*. [En línea], 1 de Abril de 2011. [Citado el: 2018 de Octubre]. Disponible en: <https://www.centroestudioscervantinos.es/>

[2] RUDOLF F. en FERNANDEZ Amador, Gerardo. "Sensores magnéticos e inductivos". Tesis (Ingeniería en electrónica). México: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, 2005. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores%20magneticos.pdf>

[3] MIRANDA Gabriela. "Sensata Technologies Amplía su Portafolio de Productos al Adquirir Custom Sensors & Technologies (CST)" [en línea], febrero de 2016. [Citado el: 23 de febrero 2018]. Disponible en: <https://arhitac.org/actualidad/noticias/item/709-sensata-technologies-amplia-su-portafolio-de-productos-al-adquirir-custom-sensors-technologies-cst>

[4] MCBRIDE, Lyle. National Museum of American History. *Texas Instrument Collection*. [En línea] Smithsonian Institution, 2000. [Citado el: 9 de Mayo de 2017]. Disponible en: http://smithsonianchips.si.edu/texas/t_285.htm.

[5] MARKO Jakomin, FRANC koseal, TADEJ kosel (2010). Thin double curved shallow bimetallic shell of translation in a homogenous temperature field by non-linear theory: *Thin-Walled Structures* 48, 243-259.

[6] Sensata Technologies, Inc. History of our company. *Sensata Technologies Website*. [En línea] Sensata Technologies, Inc, 1 de Abril de 2011. [Citado el: 2017 de Mayo de 15]. Disponible en: <http://investors.sensata.com/phoenix.zhtml?c=210277&p=irol-historycomp>.

[7] Engineered Materials Solutions Wicked Group. Un historial de soluciones. *Engineered Materials Solutions*. [En línea] Engineered Materials Solutions. [Citado el: 30 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://www.emsclad.com/es/sobre-nosotros/empresa.html>

[8] LICHUN Chena, ZHENGUO Yang, BIJENDRA Jha, GUANGUANG Xia, JEFFRY W. Stevenson. *Clad metals, roll bonding and their applications for SOFC interconnects*. s.l. : Elsevier, 2005, Vol. 152, págs. 40-45

[9] Los termómetros bimetalicos y su modo de funcionamiento [en línea], 26 de marzo de 2013 [citado el 22 de febrero de 2018]. <https://www.quiminet.com/articulos/los-termometros-bimetalicos-y-su-modo-de-funcionamiento-3516632.htm>

[10] O. Puscasua, S. Monfray, J. Boughaleb, c, P.J. Cottinet, D. Rapisarda, E. Rouvière, G. Delepierre, G. Pitone, C. Maître, F. Boeuf, D. Guyomar, T. Skotnicki. *Flexible bimetal and piezoelectric based thermal to electrical energy converters*. s.l. : Elsevier, 2014, Vol. 214, págs. 7-14.

[11] PRITONI Marco, MEIER Alan, ARGON Cecilia, PERRY Daniel. *How people use thermostats in homes*. Elsevier, 2011, págs. 2529-2541.

[12] Sensing and control [En línea], 1985 [Citado en abril de 2018]. Disponible en: https://www.sensorstecnic.net/media/aplicacions/pdf/3200_Series_in_Satellite_Apps_Final_04Mar09.pdf

[13] HERNANDEZ Sampieri, FERNANDEZ Collado, y BAPTISTA Lucio. *Metodología de la investigación*. 5ª ed. México: McGraw, 2010. 656 pp. ISBN: 978-607-15-0291-9

[14] PAISAN Yoel, MORET, Juan. *LA REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS PROCESOS DE MEDICIÓN*. Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba. *Tecnología Química*, mayo-agosto, 2010, pp. 117-121 ISSN: 0041-8420

[15] JIMENEZ SOLIS, Fernando. *Estudio GR&R para variables continuas, enfocado a six sigma*, (2017). Manual de Sensata Technologies, 27pp.

[16] *Análisis de sistemas de medición*, Manual de referencia cuarta edición [En línea], Junio, 2010 [Citado el: 04 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://vdocuments.mx/manualmsa42010espanol.html>

[17] YICHUN Liu, LEI Liu, ZHONG Wu, JIAKE Li, BIN Shen, and WENBIN Hu. *Grain growth and grain size effects on the thermal expansion properties of an electrodeposited Fe–Ni invar alloy*. Scripta Materialia, Abril 2010, págs. 359–362.

[18] DAN Wu, LEI Yang, CHANG-DONG Shi, YU-CHENG Wu, WEN-MING Tang. *Effects of rolling and annealing on microstructures and properties of Cu/Invar electronic packaging composites prepared by powder metallurg*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2015. págs 1995–2002.

ANEXOS

Descripción del ensamble de un moto-protector.

1. Prensamblaje: Se toma el calefactor y se coloca hacia abajo en la base (fig. 29).



Fig. 29, Prensamblaje de moto-protector. Fuente: Elaboración propia.

2. Remache: Se toma la pieza con las terminales hacia arriba y se coloca en la máquina (fig. 30).

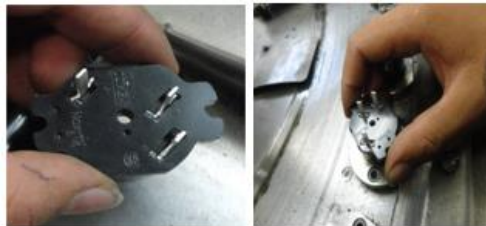


Fig. 30, Remache de moto protector. Fuente: Elaboración propia.

3. Ajuste de calefactor: Se coloca la pieza en la máquina y esta ajusta la distancia entre el calefactor y la base (fig. 31).



Fig. 31, Ajuste de calefactor en moto protector. Fuente: Elaboración

4. Ribeteado de disco: Se ensambla un tornillo por el orificio central del disco y sobre este una placa, para así unir los componentes. Un maquina se encarga de remachar la pieza (fig. 32).



Fig. 32, Ribeteado de disco en motoprotector. Fuente: Elaboración

5. Disco a base: Se coloca el disco y la base en la máquina y esta se encarga de unirlos (fig. 33).



Fig. 33, Ensamble del disco a base. Fuente: Elaboración propia.

6. Calibración: Se coloca la pieza en la máquina y esta se encarga de calibrar. Ajustar temperaturas en los tanques de sorteo y doblado como sigue (Tabla 1):

Tabla 1. Temperaturas en los tanques de sorteo y doblado. Fuente, Elaboración propia.

| TANQUE | DISPOSITIVOS MANUALES | | | DISPOSITIVOS AUTOMATICOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|------------|--|--------------------------|--------------|------------|-----------|-----------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|------------|-----|-------------|------------|-----|--------------------------------------|
| LO (apertura corta) | LO+2°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HO (apertura larga) | HO-2°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HC (cierre largo) | HC-2°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LC (cierre corto) | LC+2°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BENDER | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temp. apertura</th> <th>Temp. Cierre</th> <th>Ajuste a :</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>85° a 95°</td> <td>42° a 66°</td> <td>45°</td> </tr> <tr> <td>100° a 110°</td> <td>62° a 86°</td> <td>60°</td> </tr> <tr> <td>115° a 125°</td> <td>62° a 86°</td> <td>55°</td> </tr> <tr> <td>130° a 140°</td> <td>85° a 109°</td> <td>70°</td> </tr> <tr> <td>145° a 155°</td> <td>85° a 109°</td> <td>70°</td> </tr> </tbody> </table> | | | Temp. apertura | Temp. Cierre | Ajuste a : | 85° a 95° | 42° a 66° | 45° | 100° a 110° | 62° a 86° | 60° | 115° a 125° | 62° a 86° | 55° | 130° a 140° | 85° a 109° | 70° | 145° a 155° | 85° a 109° | 70° | BENDERS APAGADOS. Y setear a 60°C |
| Temp. apertura | Temp. Cierre | Ajuste a : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 85° a 95° | 42° a 66° | 45° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100° a 110° | 62° a 86° | 60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 115° a 125° | 62° a 86° | 55° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 130° a 140° | 85° a 109° | 70° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 145° a 155° | 85° a 109° | 70° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7. Time chek: Prueba donde el moto protector se somete a corriente eléctrica para medir el tiempo en que el disco abre, la maquina se programa bajo parámetros específicos y se inicia el ciclo de prueba. Existen parámetros establecidos, dependiendo del modelo, del tiempo en que debe abrir cada disco. Cuando el calefactor y la base están muy pegados el disco se abre antes de lo que debería, la maquina indica LO (apertura corta) y cuando están más separados HO (apertura larga). Cuando el material no

abre en el tiempo que debería, se deja enfriar y se vuelve a probar, si vuelve a no pasar la prueba, se separa y se analiza la falla (fig. 34).



Fig. 34, Prueba de función del motoprotector. Fuente: Elaboración propia.

8. MP manual o automático: Cuando el MP es manual, el reseteo de la pieza no se hace por sí sólo, por lo que se debe agregar un botón que permita resetear la pieza. Si el MP es automático el botón no es requerido.
9. Ensamble de tapa: Con ayuda de una aguja se coloca pegamento por todo el contorno de la base, se coloca la tapa sobre el mismo y se ejerce presión (fig. 35).



Fig. 35, Ensamble de tapa del motoprotector. Fuente: Elaboración propia.

10. Existen modelos especiales de moto protectores los cuales pueden llevar un cable o adaptador, en esta operación, se coloca la pieza en la máquina y se solda el cable o el adaptador según sea requerido (fig. 36).



Fig. 36, Ensamble de cable a motoprotector. Fuente: Elaboración propia.

11. Por último, Se revisa que las piezas estén libres de daños aparentes y se empaca.