

CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE SOLDADORA ULTRASÓNICA PARA EL ENSAMBLE DE CATETERS

CHARACTERIZATION OF PARAMETERS OF ULTRASONIC WELDING MACHINE FOR THE ASSEMBLY OF CATHETERS

Luis Eduardo Martínez Romero ¹, Velia Herminia Castillo Pérez ²

¹Ingeniero Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Ingeniería Industrial, lmart6770@gmail.com, (656)2747322, Lago Manitoba #925 Fraccionamiento Los Lagos CP 32600 Ciudad Juárez Chihuahua.

²Doctorado en ciencias de la administración, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Departamento de Estudios Postgrado de Investigación, vcastillo@itcj.edu.mx, (656)3505200, Parque Olimpo #774 Los Parques CP 32440 Ciudad Juárez Chihuahua. Autor corresponsal

Resumen -- El presente proyecto tiene como objetivo la instalación de una máquina de soldadura ultrasónica en una línea nueva de producción en el ramo de dispositivos médicos. Esta investigación tomó como punto de partida los parámetros de operación de un proceso idéntico ya caracterizado y validado. El proceso de soldadura ultrasónica se utiliza para la unión de partes plásticas en catéteres cardiovasculares (manivela).

El catéter consta de una parte superior y una inferior que al ser colocadas en los moldes de la máquina y después de capturar los parámetros se ejecuta la operación y esta debe dar por resultado una unión que cumpla con las especificaciones de adherencia y mínima rebaba posibles. La investigación inicia por comprobar con un experimento inicial de 90 piezas en sus 3 niveles (Inferior, Nominal y Superior) si la máquina en cuestión tiene como parámetros de más impacto los mismos que la máquina ya validada. Posteriormente (Musa, M. A., Wan Saidin, W. A. N., Kasim, N. I., Ibrahim, M. I., & Mohamad Noor, N, 2015) rmente se ajustaron los parámetros según los resultados del experimento inicial, para finalmente hacer un segundo experimento con 90 piezas con parámetros nuevos y poder demostrar que la máquina es capaz de operar cumpliendo con los criterios de calidad requeridos. Los resultados de esta investigación resultaron favorables, se demostró con un análisis de capacidad que la máquina esta validada y puede cumplir con su proceso satisfactoriamente.

Palabras Clave: Caracterización de Parámetros, capacidad de proceso, catéter, soldadura ultrasónica, adherencia, rebaba.

Abstract -- The objective of this project is the installation of an ultrasonic welding machine in a new production line at the company. This research took as a starting point the operating parameters of an identical process already characterized and validated. The ultrasonic welding process is used to join plastic parts in cardiovascular catheters, said catheter consists of an upper and a lower part that when placed in the molds of the machine and after capturing its parameters, the operation is executed, and this should result in a joint

that meets the minimum possible flash and adhesion specifications. The New investigation begins by checking with a run of 90 pieces in its 3 levels (Lower, Nominal, and Higher) if the machine in question has the same parameters of more impact as the machine already validated. Subsequently, the parameters were adjusted according to the results of the first run, to finally make a second run with 90 pieces with new parameters and to be able to demonstrate that the machine is capable of operating complying with the required quality criteria. The results of this investigation were favorable, it was demonstrated with a capacity analysis that the machine is validated and can fulfill its process satisfactorily.

Key words – Parameters Characterization, Process capability, catheter, ultrasonic welding, adhesion, Flash.

INTRODUCCIÓN

En cualquier empresa es importante que los trabajadores conozcan el producto que están manufacturando, el uso y la importancia que cumpla con las Normas De calidad [1]. En el caso de esta empresa, que se dedica a la fabricación de dispositivos cardiovasculares médicos, y uno de sus componentes principales es el plástico biocompatible. El proceso de soldadura de plástico es uno de los procesos más complejos por la variedad y cantidad de variables a controlar, sin embargo, es de gran interés debido a la diversidad de artículos que se pueden obtener, los cuales van desde simples cubiertos hasta partes críticas de aeronaves o productos médicos [2], [3], [4], [5].

La presente investigación tiene como finalidad validar los parámetros de operación para una máquina Instron de Soldadura ultrasónica [6] en la nueva línea de ensamble de catéteres, la cual pertenece al ramo médico específicamente catéteres de diagnóstico y terapéuticos [7].

En la figura 1 Catéter cardiovascular se aprecia la imagen de una manivela la cual es el control de la punta del catéter.

Es indispensable que funcione lo más cerca a la perfección, dado que este componente es el que brinda el control total del catéter al médico que lo utiliza.

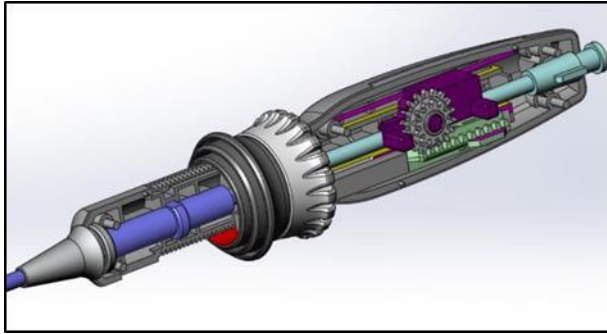


Figura 1. Catéter cardiovascular.

El proceso de soldadura ultrasónica es el mayor problema de calidad que tiene las líneas de producción de ensamble, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Quejas de cliente.

Cuando	Real #	Producto	Manufacturero	Motivo	Acción	Cantidad
7-Oct-15	2-0369-2010	Biosense Webster NavStar RMT Diagnostic Part Numbers: D-1259-01 & D-1259-02	Biosense Webster, Inc. Circuito Interior Norte, #1820 Parque Industrial Salavarría Cd. Juárez, Chihuahua México	Biosense Webster inició la retrada debido a la posible preocupación con uno de los componentes de la Placa de circuito impreso (PCI) que se utilizan en los cateteres Navistar RMT, lo que puede ocasionar que el icono del cateter de ablación se desplace en el visor de mapas cuando se está aplicando energía de RF.	La firma envió una carta de "Corrección urgente de dispositivos médicos" a los destinatarios el destinatarios. Si los destinatarios sospechan que tienen un cateter NAVISTAR RMT defectuoso, se les indicó que notifiquen a Biosense Webster y devuelvan el cateter defectuoso para su evaluación y reembolso / reemplazo.	2,180 pcs.
14-Jun-17	2-0210-2018	SMARTABATE RF S	Biosense Webster, Inc. 15715 ArrowWay Irvine CA 92706-3006	El generador puede emitir inadvertidamente energía de RF si el pedal se coloca muy cerca y orientado hacia los imanes de Stenotaxis.	Se notificará a todos los nuevos clientes de EE. UU. Y OUS que hayan comprado el sistema SMARTABATE.	185 pcs.
6-Sep-17	2-0257-2018	THERMOCOOL SMARTTOUCH Unidirectional N	Biosense Webster, Inc. 15715 ArrowWay Irvine CA 92706-3006	La alerta 402 implica un "Mapeo de distorsión magnética" cuando está conectado al sistema CARTO 3. Este problema puede llevar posteriormente al médico a ablacionar en un área no intencionada al entregar energía de RF.	Todos los clientes de EE. UU. Y OUS que hayan comprado los lotes identificados como parte de este retiro serán notificados mediante cartas de los clientes para devolver el producto a las instalaciones de BMO, donde se lo separará para su posterior eliminación (sterilización) para EE. UU.	19 pcs.
23-Jan-18	2-0065-2018	THERMOCOOL SMARTTOUCH Bi-Directional Catheter	Biosense Webster, Inc. Circuito Interior Norte, #1820 Parque Industrial Salavarría Cd. Juárez, Chihuahua México	Biosense Webster, Inc. ha recibido recientemente una queja relacionada con el desprendimiento de la manivela de los cateteres para ciertos lotes de marca THERMOCOOL, L. Este problema puede llevar posteriormente al médico a tener problemas de manipulación del instrumento médico y en consecuencia poner en riesgo la salud del paciente.	Todos los clientes que han adquirido este producto han sido notificados. Este retiro del producto se aplica a los hospitales (o clientes directos) y distribuidores que han comprado y / o recibido los cateteres THERMOCOOL, L. identificados como parte de este retiro.	197 pcs.

Este proyecto tiene como objetivo determinar y validar con evidencia objetiva los valores para cada uno de los parámetros que maneja el equipo de soldadura ultrasónica, con el fin reducir la variación del proceso a edad temprana (Introducción de un producto nuevo) para minimizar el desperdicio y optimizar el proceso cumpliendo con las características de la calidad de las piezas.

Los criterios de calidad que se buscan cumplir se muestran en la Tabla 2 Criterios de calidad, los cuales solo contemplan los principales aspectos de interés para la compañía.

En primera instancia se tiene la Fuerza de adherencia, que se calcula con pruebas destructivas en un equipo Instron totalmente diseñados para este tipo de análisis. Y el segundo criterio es la rebaba, que es inspeccionado con un Sistema de visión.

Tabla 2. Criterios de calidad.

Criterio	Especificación
Fuerza de Adherencia	75 Lbs \geq
Rebaba	0.6 mm
Visual	No piezas Marcadas por los moldes

DESARROLLO

Prerrequisitos

Cada vez que la empresa introduce un nuevo producto, debe pasar por una estricta y detallada etapa de validación, la norma [8], norma que controla las buenas prácticas de fabricación para compañías dedicados a la fabricación de Dispositivos Médicos, permite tomar como referencia equipos ya antes validados para procesos similares, ahorrar tiempo y utilizar estudios hechos en el pasado en validaciones actuales [9], [10], [11].

Es importante mencionar, previo al inicio de la experimentación:

- Las personas involucradas en la fase de validación deben estar entrenadas en el uso de los equipos involucrados, así como en el proceso que se está retando (instrucciones de trabajo).
- El equipo, debe estar debidamente instalado en la estación que deberá operar sin posibilidad a ser removido o desconectado de la fuente de electricidad.
- El equipo debe ser debidamente calibrado.
- Debe estar ejecutado un mantenimiento preventivo de instalación por el manufacturero.
- Se debe hacer un análisis de riesgo y colocar las guardas de seguridad para el operador
- El software del equipo debió haber sido validado.

Esto debe ser ejecutado antes de iniciar con las actividades de validación con el objetivo de eliminar cualquier fuente de variación externa a la operación de la máquina [12].

Además, cada uno de los aspectos antes descritos deberán tener su documento de evidencia y anexados a los protocolos de validación.

Validación (1er experimento)

El proceso de validación inicia con la experimentación de los parámetros del proceso ya validado. En la tabla 3 se observa los parámetros de operación de una máquina idéntica, mismo modelo, mismo número de parte que ya está en proceso con resultados óptimos.

Tabla 3. Parámetros Iniciales

Parámetros de Soldado	Parámetros de Proceso Inferior	Parámetros de Proceso Nominal	Parámetros de Proceso Superior
Colapso	0.015	0.017	0.020
Presión de aire (PSI)	30	45	60
Velocidad de bajada (in/sec)	2	2.5	3
Amplitud	50%	75%	100%
Tiempo de espera (solidificación)	0.6		
Trigger Force	12		

Después de ejecutar la experimentación para cada uno de los niveles, se procede a realizar las pruebas destructivas con el objetivo de medir la fuerza de adherencia entre las partes soldadas de la manivela.

El siguiente estudio de análisis de fuerza de adherencia se realizó en un equipo Instron, [7] en la Figura 2, se observa el equipo utilizado para realizar el estudio.

La figura 3, da la imagen como el equipo Instron muestra los resultados de la prueba, estos resultados deberán ser capturados en el formato de recolección de datos correspondiente para su análisis en Minitab.



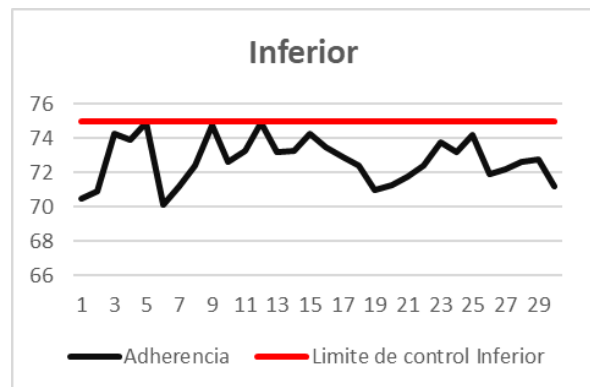
Figura 2. Equipo Instron. Fuente: Archivo de la empresa.



Figura 3. Pantalla de resultados. Fuente: Archivo de la empresa.

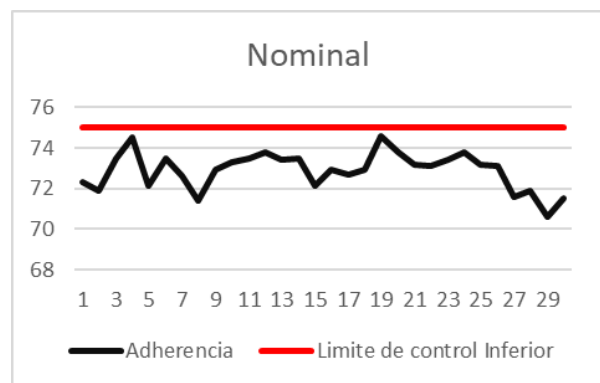
Después de recopilados los datos, se procede a realizar en análisis de estos, quedando como se muestra en los gráficos 1, 2 y 3.

En el gráfico 1 muestra el comportamiento de los datos de la tabla de parámetros iniciales en su nivel inferior.



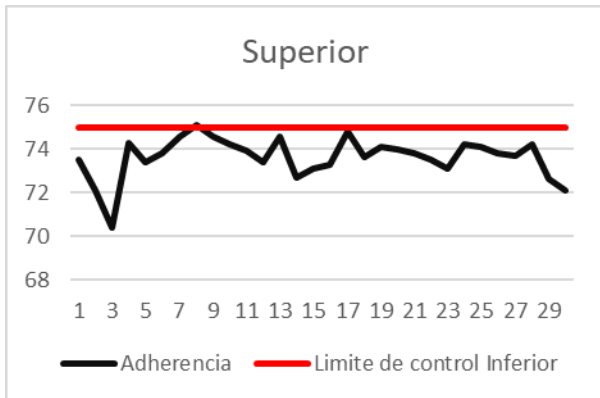
Gráfica 1. Resultados nivel Inferior.

El gráfico 2 muestra el comportamiento de los datos de la tabla de parámetros iniciales en su nivel nominal.



Gráfica 2. Resultados nivel Nominal.

El gráfico 3 muestra el comportamiento de los datos de la tabla de parámetros iniciales en su nivel superior.



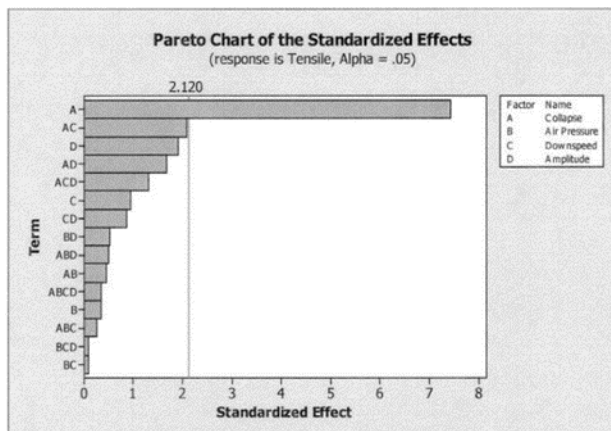
Gráfica 3. Resultados nivel Superior.

Como se aprecia en los 3 gráficos, los parámetros iniciales de la máquina ya validada no son útiles para la máquina que requiere instalar, debido a que los datos no superan la especificación de 75 lbs indicada en la línea roja. Para tener un proceso de soldado aceptable, es requerido tener lecturas mayores las 75 lbs por encima de la línea roja. Retomando el punto de la variación, es muy normal, dado que existe variación natural no controlable máquina a máquina por distintos motivos como los son los moldes, los accesorios de la máquina, la calibración, entre otros.

Además del estudio numérico, se realizó un análisis del experimento para conocer el impacto de cada parámetro, así como sus interacciones y determinar cuáles de los parámetros son los que más influyen en las variables respuesta “Fuerza de Adherencia y rebaba”.

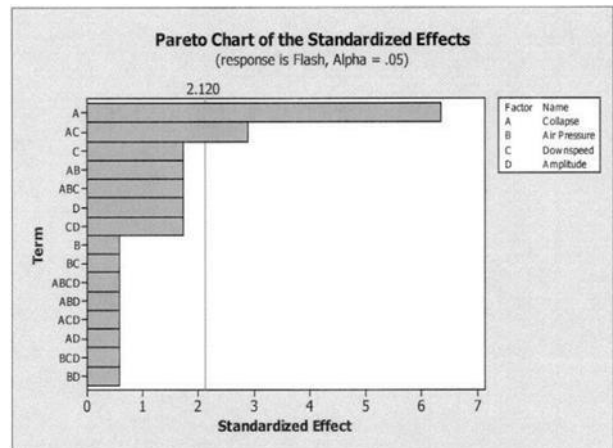
Diagrama de Pareto

La gráfica 4 ilustra como el colapso y la interacción de colapso y velocidad de bajada, son los parámetros que más influyen en la fuerza de adherencia.



Gráfica 4. Gráfico de Pareto para Fuerza de adherencia.

La gráfica 5 ilustra como el colapso y la interacción de colapso y velocidad de bajada, son los parámetros que más influyen en la generación de rebaba.



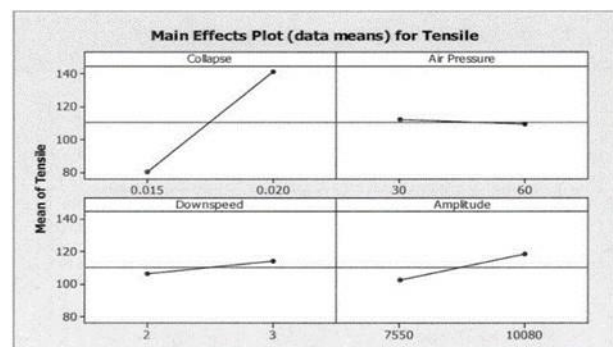
Gráfica 5. Gráfico de Pareto para generación de rebaba.

Como se observa, en los gráficos 4 y 5, ambos parámetros coinciden para ambos criterios de calidad. Se concluye que el Colapso y la interacción Colapso-velocidad de bajada, son los parámetros que influyen en las variables respuesta que se están analizando.

Una vez que se han identificado que variables son las de más impacto, es necesario saber el impacto de cada variable, ya sea, positivo o negativo. Dado que si se ajustan los parámetros se obtendrá más rebaba, o menos fuerza de adherencia. Para determinarlo, es necesario generar los gráficos de efectos e interacciones.

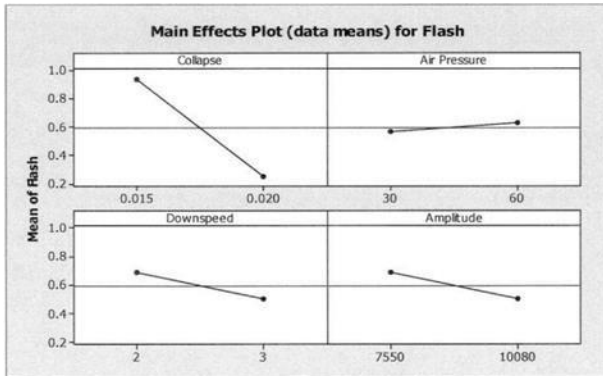
Gráfico de efectos

El Gráfico 6 muestra que la fuerza de adherencia aumenta a medida que aumenta el valor de colapso y velocidad de bajada.



Gráfica 6. Gráfico de Efectos para Fuerza de adherencia.

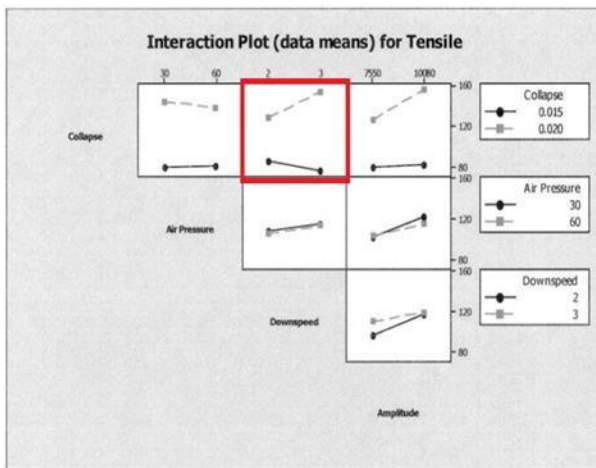
El Gráfico 7 muestra que la rebaba disminuye a medida que aumenta el valor de colapso y la velocidad de bajada.



Gráfica 7. Gráfico de Efectos para rebaba.

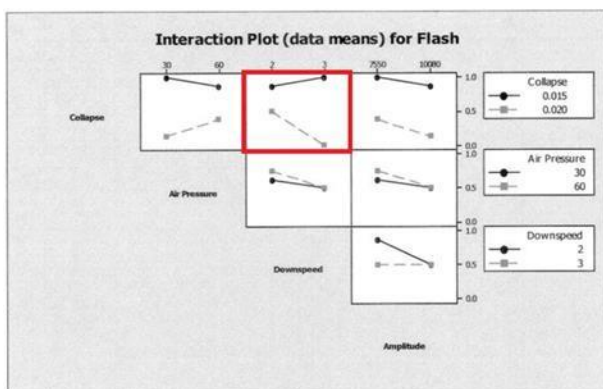
Gráfico de interacciones

El Gráfico 8 comprueba que la fuerza de adherencia aumenta a medida que valor de colapso y velocidad de bajada son mayores.



Gráfica 8. Gráfico de interacciones para Fuerza de adherencia.

El Gráfico 9 comprueba que la rebaba disminuye a medida que valor de colapso y velocidad de bajada son mayores.



Gráfica 9. Gráfico de interacciones para rebaba.

De las 4 variables estudiadas, el colapso y la interacción del Colapso-Velocidad de bajada tienen un efecto significativo en la fuerza de adherencia de las partes soldadas. El colapso tuvo un efecto positivo en el resultado del experimento, a medida que se aumenta el valor del colapso, la fuerza de adherencia aumenta y de igual manera para la interacción del Colapso-Velocidad de bajada.

De las 4 variables estudiadas, el colapso y la interacción entre colapso y velocidad de bajada tienen efectos significativos en la rebaba de la pieza soldada. El colapso tiene un efecto positivo en la rebaba de la manivela, a medida que el colapso incrementa, la rebaba se reduce.

El colapso y la velocidad de bajada tienen una fuerte interacción. A un valor bajo de colapso (0.0015”) las piezas presentan rebaba en ambos valores de velocidad de bajada (bajo y alto). A un valor alto de colapso (0.0020”) las piezas presentan menor rebaba en el valor bajo de velocidad de bajada. De igual manera para el valor de la velocidad de bajada, a medida que la velocidad de bajada aumenta, su interacción con el colapso hace que la adherencia aumente y, por el contrario, cuando el tiempo de bajada aumenta, su interacción con el colapso provoca que la rebaba disminuya.

Basado en lo explicado en la sección anterior, los gráficos de inspección a la rebaba y de pruebas de tensión realizadas en este experimento son evidencia suficiente para que la ventana de operación del equipo Branson sea ajustada. El ingeniero a cargo de la validación sabe por experiencia, que la variación máquina a máquina no puede alejar mucho los valores de los parámetros entre una y otra. Los valores se ajustan de acuerdo con las conclusiones obtenidas en el análisis del proceso ya caracterizado. Una vez que los parámetros han sido ajustados, será necesario ejecutar un segundo experimento de 30 muestras para los 3 niveles.

En la tabla 4, se muestra los parámetros ajustados acorde a el estudio previo. Cabe mencionar que la experimentación se repetirá cuantas veces sea necesario hasta demostrar resultados que cumplan con los requerimientos del proceso.

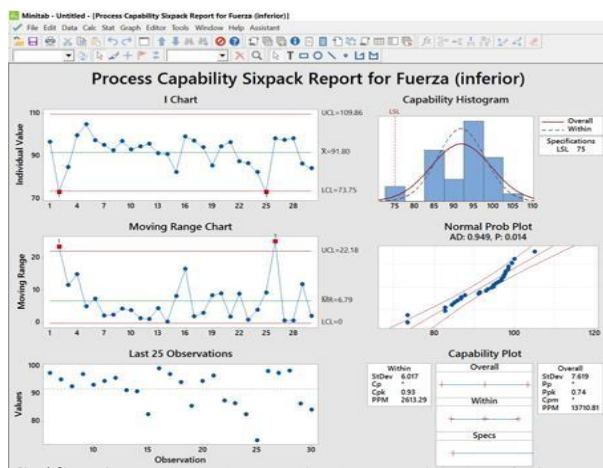
Tabla 4. Parámetros Ajustados

Parámetros de Soldado	Parámetros de Proceso Inferior	Parámetros de Proceso Nominal	Parámetros de Proceso Superior
Colapso	0.020	0.022	0.024
Presión de aire (PSI)	30	45	60
Velocidad de bajada (in/sec)	2.8	3.0	3.2
Amplitud	50%	75%	100%
Tiempo de espera (solidificación)	0.6		
Trigger Force	12		

Validación (2do experimento)

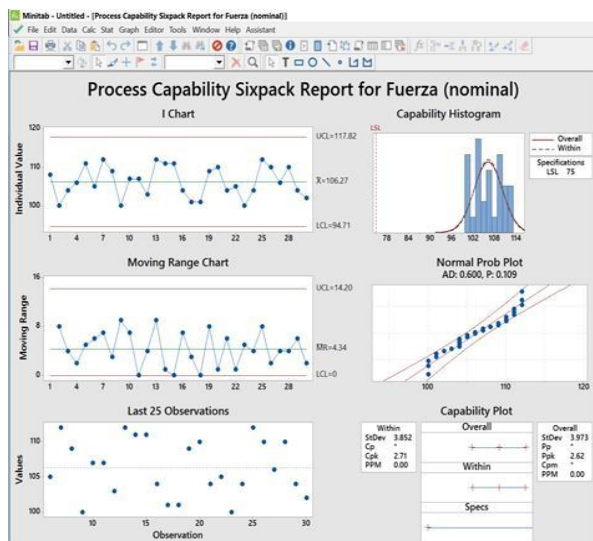
Una vez conocidas las variables de mayor impacto en la fuerza de adherencia y la generación de rebaba y después de analizados los gráficos de Pareto, efectos e interacciones, es evidente que los valores para las variables Colapso y velocidad de bajada deben ser aumentados para quedar ajustados como se muestra en la tabla 4. Con estos nuevos valores, se ejecutó un análisis de capacidad para cada uno de los niveles, 30 piezas para cada nivel, los resultados se presentan a continuación:

El Gráfico 9 muestra gráficos de dispersión y sus valores de Cpk para los valores del nivel inferior. Se aprecia como los valores han mejorado.



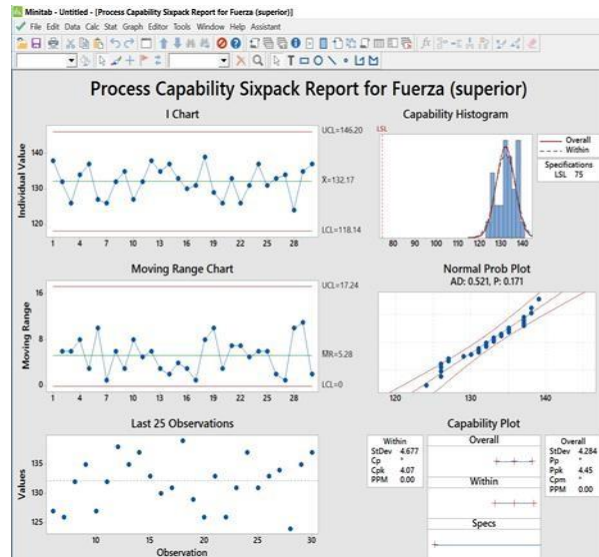
Gráfica 9. Reporte de estudio de capacidad (Inferior).

El Gráfico 10 muestra gráficos de dispersión y sus valores de Cpk para los valores del nivel nominal. Se aprecia como ya no existen valores para la fuerza de adherencia fuera de especificación y una variación más controlada.



Gráfica 10. Reporte de estudio de capacidad (Nominal).

El Gráfico 11 muestra gráficos de dispersión y sus valores de Cpk para los valores del nivel superior. Se aprecia de la misma manera que en el nivel anterior una variación más controlada.



Gráfica 11. Reporte de estudio de capacidad (Superior).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al término de este proyecto se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se comprobó con evidencia objetiva el impacto directo de los valores de los parámetros para Colapso y Velocidad de bajada en la fuerza de adherencia. Concluyendo que a mayor valor de colapso y velocidad de bajada se obtendrá un mayor resultado en la fuerza de adherencia y menor rebaba entre las partes unidas.
- Al analizar en Minitab 18.1 los resultados obtenidos en el segundo experimento, se observa que el nivel “inferior” da por resultado un Cpk=0.93, nominal da un resultado de Cpk =2.71 y superior con un Cpk =4.07. Son resultados confiables para deducir valores finales para cada uno de los parámetros.
- Por indicador de proceso, se concluye que con un Cpk=4.07 y 95% de confianza, se decide correr el equipo con los valores “superiores” quedando finalmente como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros Finales de Operación.

Parámetros de Soldado	Parámetros de Proceso Superior
Colapso	0.024
Presión de aire (PSI)	60
Velocidad de bajada (in/sec)	3.2
Amplitud	100%
Tiempo de espera (solidificación)	0.6
Trigger Force	12

De acuerdo con [13] Rashlia, Rashiqah; Abu Bakar, Elmi ; Kamaruddin, Shahrul (2013), aunque las soldadoras de ultrasonido tienen muchas ventajas en el ensamble especialmente en materiales termoplásticos

cuando se manufacturan productos, tienen una característica dominante con la cual trabajar. En soldaduras de ultrasonido causan mala calidad debido a la selección inadecuada de los parámetros. Un objetivo de monitorear las soldadoras de ultrasonido es predecir con precisión los resultados de calidad con base en monitoreo de señales [14].

Los plásticos son muy pobres conductores de calor y no pueden disipar el calor antes de que cambien su estado de sólido a líquido. Con un poco de presión aplicada, se logra que las dos partes se mezclen para comportarse como si fueran un solo componente de plástico. Una vez que la señal de la soldadora de ultrasonido se para, las partes se convierten en solidas otra vez. Esta es la magia que crea una soldadora entre dos partes y se convierte en una parte limpia y muy fuerte. La soldadura tendrá una fuerza que es cercana a la materia prima de la que está formada [15].

CONCLUSIONES

Finalizado el proyecto y después que los resultados de las muestras han demostrado estabilidad y cumplimiento en la variable principal que fue la Fuerza de adherencia se concluye que los valores para la variable colapso y velocidad de bajada, tienen un impacto significativo en la fuerza con la que terminan soldadas las partes de la manivela del catéter, además, con los valores finales, la rebaba disminuyó.

Finalmente se recomienda:

- Correr los parámetros denominados como “límite superior”.
- No modificar o mezclar niveles de los valores, ya que las interacciones pueden llegar a producir rebaba o afectar la fuerza de adherencia.
- Verificar periódicamente la calibración de los equipos de soldadura (Branson) y prueba (Instron).
- Ejecutar una revalidación de los parámetros en caso de: reubicación del equipo, desenergización total del equipo, cambio o incorporación de alguna de las partes o herramental involucrado en esta prueba y comenzar a obtener resultados fuera de especificación.
- Se recomienda inspección visual al menos cada 6 meses en los moldes el equipo Branson.

BIBLIOGRAFÍA

[1] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>. (07 de Oct de 2021).
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>. Obtenido de
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>:
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
 [2] Greweell, D.; Benatar, A.; (2007). Welding of plastics: Fundamentals and new developments. Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa state University, 49–52.
 [3] Musa, M. A., Wan Saidin, W. A. N., Kasim, N. I.,

Ibrahim, M. I., & Mohamad Noor, N. (2015). A Review on Ultrasonic Welding Capability: Breakaway from Traditional Plastic. Applied Mechanics and Materials, 136–140 doi:10.4028/www.scientific.net/amm.789-790.136.

[4] Throughton, M. J. (2008). Handbook of plastics joining, Second edition. Cambridge, UK: Welding Institute.

[5] Groover, M. P. (2016). Fundamentals of modern manufacturing, sixth edition. Wiley & Sons, Incorporated, John.

[6] https://www.sonitek.com/branson-ultrasonic-welders/?gclid=Cj0KCQjwrJOMBhCZARIsAGEd4VFfaLBB90rw9ow3Lhj1b7mIDltOB_rxnvXA5ReWhck9aMCreLAbB2AEaAkihEALw_wcB. (1 de Octubre de 2021).

Obtenido de https://www.sonitek.com/branson-ultrasonic-welders/?gclid=Cj0KCQjwrJOMBhCZARIsAGEd4VFfaLBB90rw9ow3Lhj1b7mIDltOB_rxnvXA5ReWhck9aMCreLAbB2AEaAkihEALw_wcB.

[7] [instron.com/en/products/testing-systems/universal-testing-systems/low-force-universal-testing-systems](https://www.instron.com/en/products/testing-systems/universal-testing-systems/low-force-universal-testing-systems). (1 de Octubre de 2021). Obtenido de <https://www.instron.com/en/products/testing-systems/universal-testing-systems/low-force-universal-testing-systems>.

[8] GUIDE, I. 1. (08 de 08 de 2016). NQA-ISO-13485-Guia-de-implantacion.pdf. Obtenido de NQA-ISO-13485-Guia-de-implantacion.pdf:
<https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFS%20and%20PDFs/NQA-ISO-13485-Guia-de-implantacion.pdf>

[9] Morales Elizondo, J. (20 de Ago de 2014). Validación de Parámetros de Soldadora Ultrasonica. San Jose, San Jose, Costa Rica.

[10] Martínez-Pérez, Y., & Collazo-Carceller, R. (2018). Revisión bibliográfica de los efectos de los parámetros de soldadura en las tensiones residuales del proceso. Revisión bibliográfica de los efectos de los parámetros de soldadura en Memoria Investigaciones En Ingeniería, (16). Recuperado a partir de <http://revistas.um>, 85-98.

[11] Tae Hwa Lee, Hua-Tzu Fan, Yang Li, Daniel Shriver, Jorge Arinez, Guoxian Xiao, Mihaela Banu. (2020). Enhanced Performance of Ultrasonic Welding of Short Carbon Fiber Polymer Composites Through Control of Morphological Parameters. J. Manuf. Sci. Eng. Jan, 142-154 <https://doi.org/10.1115/1.4045444>.

[12] Division, A. B. (2013). The Biomedical Quality Auditor Handbook (2nd ed). Milwaukee, Wisconsin, USA.: B. Haggard Ed.

[13] Rashlia, R., Abu Bakar, E., & Kamaruddin, S. (2013). Determination of Ultrasonic Welding Optimal Parameters for Thermoplastic Material of Manufacturing Products. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 19–24.

[14] Wang, B., Li, Y., Luo, Y., Li, X., & Freiheit, T.

2021). Early event detection in a deep-learning driven quality prediction model for ultrasonic welding. Journal of Manufacturing Systems, 325-336

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.009>.

[15] Huang, S. (10 de MAY de 2018). The Basics of Ultrasonic Plastic Welding Technology. Obtenido de <https://www.nexpcb.com/blog/the-basics-of-ultrasonic-welding-technology>: <https://www.nexpcb.com/blog>

ROLES DE CONTRIBUCIÓN

ROL DE CONTRIBUCIÓN	AUTOR(ES)
Conceptualización	Luis Eduardo Martínez Romero
Curación de datos	Velia Herminia Castillo Pérez
Metodología	Luis Eduardo Martínez Romero (principal), Velia Herminia Castillo Pérez (apoya)
Administración del proyecto	Velia Herminia Castillo Pérez
Recursos	Luis Eduardo Martínez Romero
Software	Luis Eduardo Martínez Romero (principal), Velia Herminia Castillo Pérez (apoya)
Supervisión	Velia Herminia Castillo Pérez (principal), Luis Eduardo Martínez Romero (apoya)
Validación	Velia Herminia Castillo Pérez (principal), Luis Eduardo Martínez Romero (apoya)
Visualización	Luis Eduardo Martínez Romero (principal), Velia Herminia Castillo Pérez (apoya)
Redacción	Luis Eduardo Martínez Romero (principal), Velia Herminia Castillo Pérez (apoya)
Redacción	Velia Herminia Castillo Pérez (principal), Luis Eduardo Martínez Romero (apoya)



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.