

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Rediseño de sistema de sujeción componentes plásticos cilíndricos mediante mandril tipo collet.

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Kevin de Jesus Delgado Hernandez

Director:

Dr. Alejandro Guzman

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México

Rediseño de sistema de sujeción componentes plásticos cilíndricos mediante mandril tipo collet.

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Kevin de Jesus Delgado Hernandez

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda

Dra. Xxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dra. Xxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martinez Soto

Coordinador del Posgrado en Ingeniería e
Innovación.

Resumen de la tesis que presenta **Kevin de Jesus Delgado Hernandez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Rediseño de sistema de sujeción componentes plásticos cilíndricos mediante mandril tipo collet.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda

Medtronic México manufactura el ensamble de tazón centrífugo autólogo siendo uno de los productos con mayor demanda y delicados de la empresa. Los componentes principales del producto, tazón, popote, tapa centrífuga y tapa plateada son ensamblados en un equipo semiautomatizado conformado por el mecanismo de sujeción de popote con tracción y fuerza determinada con el objetivo de evitar deformación en el componente, y el sistema de jalón hacia la posición especificada sujetando en todo momento la tapa centrífuga.

Medtronic controla la calidad del ensamble mediante la medición de altura respecto a dos puntos del tazón de los componentes internos del subensamble, medición 1 correspondiente al palpado de popote con tapa plateada > 0.1260 in y medición 2, palpado popote con cuello de tazón = $0.0350 - 0.080$. El equipo de ensamble requiere de 3 mantenimientos correctivos 5 días por semana con duración de 8 minutos para trabajar manera constante y dentro de los criterios de calidad. Basado en registros históricos continúa generando perdidas debido al tiempo muerto ocasionado.

El objetivo del presente estudio es eliminar el tiempo muerto generado por el sistema de sujeción del componente plástico popote para el ensamble del tazón centrífugo mediante el diseño de un mecanismo de sujeción mediante mandril tipo collet para ensamble de ajuste a presión, cálculo de fuerzas, presiones de actuadores y la toma de muestras de resultados de mediciones de alturas del sistema actual y la propuesta de solución. Los datos recolectados fueron analizados con una prueba T de dos muestras usando la herramienta Minitab, lo cual establece que las medias y conjuntos de datos de ambos sistemas no presentan diferencia estadísticamente significativa, adicional la prueba de hipótesis fueron realizados análisis de capacidad de proceso demostrando mejoría en la salida del sistema de mandril tipo collet.

Una mejor respuesta de salida y eliminación de mantenimientos correctivos sumado al mayor tiempo de vida de componentes sometidos a desgaste del sistema de mandril tipo collet hizo posible la conclusión del equipo propuesto como solución al problema de tiempo muerto.

Palabras clave: degaste, mandril, collet, capacidad.

Abstract of the thesis presented by **Kevin de Jesus Delgado Hernandez** as a partial requirement to obtain the Master or Doctor of Science degree in Engineering Sciences with orientation in

Rediseño de sistema de sujeción componentes plásticos cilíndricos mediante mandril tipo collet.

Medtronic Mexico manufactures the Autolog centrifuge bowl assembly as one of its delicate and high demand products. The core components of the product, bowl, straw, centrifuge cover and cover plate are assembled in a semi-automated equipment made up by the straw clamping mechanism with a determined force and traction in order to avoid deformation of the component, and the pull-out system towards the specified position holding the centrifugal cover.

Medtronic controls the quality of the assembly by measuring relative heights between two internal points of the bowl against the sub assembly components, measurement 1 corresponding to the probing of the straw with a cover plate > 0.1260 in and measurement 2, the probing of the straw with a neck of the bowl $= 0.0350 - 0.080$. The equipment requires 3 corrective maintenance 5 days per week with a duration of 8 minutes to work constantly and within quality criteria. Based on historical records, it continues generating money losses.

The objective of this study is to eliminate the down time generated by the clamping system of the plastic straw component for the assembly of the centrifugal bowl by designing a clamping mechanism using a collet mandrel for press fit assembly, calculating of forces, pressures of actuators and sampling height measurement results from the current system and the proposed solution. The collected data was analyzed with a two-sample T-test using the Minitab software which establishes that the means and data sets of both systems does not present a statistically significant difference, in addition to the hypothesis test, process capability analysis was performed showing improvement at the measurement outputs of the collet type mandrel system.

A better output response and elimination of corrective maintenance added to the longer life of components with constant interaction and wear of the collet mandrel system demonstrate the proposed equipment as a solution for the down time problem.

Key words: wear, mandrel, collet, capability

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre quien siempre ha estado presente para mí en cada etapa de mi vida amándome, alentándome a seguir adelante a no rendirme y superar cada obstáculo que impone la vida, mi madre mi ejemplo más grande a seguir.

Mis hermanos por brindarme en todo momento su apoyo, confianza y cariño sin medida. Por estar siempre conmigo preocuparse cuidarme, aconsejarme y levantarme en cada momento que he necesitado.

A mi pareja quien ha formado parte muy importante de mi vida en este último lapso de la maestría, por compartir cada momento dulce y amargo siempre brindándome su amor soporte y apoyo.

A mis amigos Marco, Omar, Sharon, Antonio, Joel y Jorge, por ser pilares en mi formación tanto profesional como personal durante los últimos dos años y medio, de quienes he aprendido, con quienes he compartido vivencias que forman parte de la esencia de mi persona.

Agradecimientos

La presente tesis fue realizada gracias al soporte de la empresa Medtronic, su personal de trabajo y el apoyo mediante la beca CONACYT- INDUSTRIA.

Agradezco a los Ingenieros Hector y Jorge por su soporte y conocimientos brindados, así como su amistad y confianza brindada en todo momento.

A CETYS universidad por ser el centro de formación para la realización del presente posgrado.

Tabla de Contenido

Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Antecedentes	2
2.1 Ensamblados plásticos de ajuste a presión	6
2.2 Posicionadores o Plantillas	8
2.3 Sujetadores.....	9
2.4 Herramienta	10
2.5 Porta pieza o Sujetador de trabajo.	11
2.6 Mandril	11
2.7 Collet	13
2.8 Cálculo de fuerza de sujeción para mandril tipo collet.....	15
2.8 Efectores finales.	17
2.9 Pinzas (Gripper)	18
2.10 Cálculo de Fuerzas y presiones para cilindros neumáticos	21
2.11 Teoría esfuerzo – deformación	21
2.12 Desgaste mecánico por fricción	24
2.13 Prueba de Hipótesis para diferencia en medias, varianzas desconocidas	26
2.14 Elección del tamaño de muestra	26
2.15 Línea Base.....	27
Capítulo 3. Definición del Problema	29
3.1 Justificación	29
3.2 Planteamiento del problema	29
3.3 Objetivos	30
3.3.1 Objetivos Generales	30
3.3.2 Objetivos específicos.....	30
Capítulo 4. Metodología	31
4.1 Especificaciones.....	31
4.2 Elección tamaño de muestra.....	33
4.3 Prueba de Hipótesis para diferencia en medias sistema actual contra mecanismo con mandril tipo collet.....	35
4.4 Análisis de capacidad de proceso.....	35
4.5 Criterio de aceptación	38

Capítulo 5. Resultados	39
5.1 Fuerza requerida para realizar ensamble de tazón centrífugo – tapa plateada – popote con tapa centrífuga	39
5.2 Fuerza requerida de actuador neumático para apertura y cerradura de mandril tipo collet (fuerza de sujeción).....	41
5.3 Cálculo de Presiones de entrada de Cilindros en base a dimensiones de sistema.	43
5.4 Simulación deformación de Popote de ensamble tazón centrífugo	45
5.5 Diseño final de sistema de sujeción mediante mandril tipo collet	47
5.6 Resultados de Prueba de hipótesis para diferencia de medias (tipo t) Primer hipótesis.	49
5.7 Analisis de capacidad Primer hipótesis	50
5.8 Resultados de Prueba de hipótesis para diferencia de medias (tipo t) estudio Segunda hipótesis (Comportamiento posterior a 10000 ciclos).....	52
5.9 Análisis de capacidad Segunda hipótesis	53
5.10 Resultados de tiempo muerto por mantenimientos correctivos tras 10000 ciclos con sistema propuesto.....	54
5.11 Discusión de resultados.....	55
6. Conclusión	56
Referencias	57

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Ensamble de tazón centrífugo autóloga.</i>	3
<i>Figura 2. Proceso de ensamble de tazón centrífugo</i>	4
<i>Figura 3. Subensamble tazón con tapa plateada y popote, tapa centrífuga</i>	4
<i>Figura 4. Equipo de Ensamble de popote con tazón en tapa centrífuga. (1) Base de tapa centrífuga. (2) Subensamble tapa centrífuga con tazón y popote. (3) Herramienta de sujeción de popote o gripper. (4) Pistón de jalado de popote</i>	5
<i>Figura 5. Mecanismo de sujeción y sistema de jalón de equipo de ensamble</i>	5
<i>Figura 6. Sistema de medición de subensamble. (1) Interfaz gráfica, (2) base metálica de sujeción, (3) micrómetro mitutoyo calibrado.</i>	6
<i>Figura 7. Parámetros de ajuste a presión</i>	7
<i>Figura 8. Orientación de herramienta cortadora mediante uso de casquillo.</i>	8
<i>Figura 9. Referenciación de herramienta cortadora mediante uso de un bloque de conjunto.</i>	9
<i>Figura 10. Sujetadores de herramienta de banco, angular y radio giratorio.</i>	10
<i>Figura 11. Sujetador de herramienta para Cortador.</i>	10
<i>Figura 12. Mandril utilizado como porta herramienta en el eje contra punto del torno.</i>	12
<i>Figura 13. Mandril Independiente de cuatro mordazas, mandril de desplazamiento de tres mordazas y mandril combinado de cuatro mordazas</i>	13
<i>Figura 14. Portabrocas Jacobs</i>	13
<i>Figura 15. Sub ensamble de boquilla de sujeción (extremo derecho), husillo (medio) y barra guía (azul) . Fuente: (Gorgeff, 2004).</i>	14
<i>Figura 16. Sistema collet, mandril y eje de empuje.</i>	15
<i>Figura 17. Diferentes tipos de efectores finales.</i>	17
<i>Figura 18. La mano humana.</i>	17
<i>Figura 19. Elementos de una pinza efectora final.</i>	18
<i>Figura 20. Acción de sujeción externa y sujeción interna.</i>	19
<i>Figura 21. Composición interna de cilindro neumático</i>	21
<i>Figura 22. Deformación de objeto sometido a fuerzas de tensión</i>	22
<i>Figura 23. Esfuerzo sobre elemento.</i>	22
<i>Figura 24. Curva esfuerzo- deformación unitaria.</i>	23
<i>Figura 25. Representación de volumen rectangular perdido.</i>	25
<i>Figura 26. Ruta metodológica de investigación documental.</i>	31
<i>Figura 27. Ruta metodológica exploración de campo</i>	33
<i>Figura 28. Curvas OC para diferentes valores de n para la prueba t de dos colas con un nivel de significancia de 0.05.</i>	34
<i>Figura 29. Software minitab y función 2 sample t test.</i>	35
<i>Figura 30. Software minitab y función capability análisis.</i>	36
<i>Figura 31. Diagrama de ensamble de tazón centrífugo – tapa plateada – popote con tapa centrífuga.</i>	39
<i>Figura 32. Ensamble sistema de sujeción con mandril tipo collet. (1) Collet, (2) Anillos de sujeción de collet, (3) Eje de empuje y cierre cónico</i>	41
<i>Figura 33. Diagrama de cuerpo libre de mecanismo de sujeción mediante mandril tipo collet.</i>	42

Figura 34. (A) Área de elemento a analizar mediante simulación de esfuerzo deformación.....	45
Figura 35. Superficie de popote sometida a esfuerzos.....	46
Figura 36. Análisis de deformación-esfuerzo de elemento popote sometido a sujeción mediante collet.....	46
Figura 37. Mecanismo electroneumático de jalón para ensamble con ajuste a presión.	47
Figura 38. Mecanismo electroneumático de sujeción mediante mandril tipo collet.	48
Figura 39. Sistema de jalón y sujeción para componentes de tazón centrífugo. Dimensiones de acuerdo con lista de especificaciones.....	48
Figura 40. Diferencia de medias de medición de altura 1 y 2 de Sistema de sujeción mediante mandril tipo collet contra sistema actual	50
Figura 41. Capacidades e Índices de capacidades de proceso de medición de altura 1 para diseño de mandril tipo collet (izquierda) contra sistema actual (derecha).....	51
Figura 42. Capacidades e Índices de capacidades de proceso de medición de altura 2 para diseño de mandril tipo collet (derecha) contra sistema actual (izquierda).....	51
Figura 43. Diferencia de medias de medición de altura 1 y 2 de Sistema de sujeción mediante mandril tipo collet tras 10000 ciclos de trabajo contra sistema actual	53
Figura 44. Capacidades e Índices de capacidades de proceso para diseño de mandril tipo collet tras ejecución de 10000 ciclos.	53
Figura 45. Registro de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de sistema de sujeción mediante mandril tipo collet Fuente: (Elaboración propia, 2020).....	54

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Comparativa de distintos tipos de mandriles y características.</i>	15
Tabla 2. Clasificación de pinzas por tipo de sujeción.....	19
Tabla 3. Tipos de accionamiento de pinzas, ventajas y desventajas	20
Tabla 4. Propuestas de solución a sistema de sujeción para ensamble de tazón centrífugo.....	28
Tabla 5. Especificaciones de diseño de sujeción requerido.....	32
Tabla 6. Datos recolectados de experimento (Elaboración propia, 2020).....	49
Tabla 7. Datos recolectados de experimento comportamiento de mecanismo posterior a 10000 ciclos de ensamble.....	52

Capítulo 1. Introducción

El objeto de estudio del presente reporte toma lugar en la empresa Medtronic México dentro del área de productos terapias extracorpóreas donde son fabricados los sistemas de autotransfusión de tazón centrifugo autólogos, el proceso de manufactura consiste en distintos pasos, sin embargo, el enfoque de estudio recae en la operación de ensamble de los componentes tazón centrifugo, popote, tapa centrifuga y tapa plateada. Un equipo semiautomatizado de sujeción de elemento popote con fuerza determinada para evitar deformación y mecanismo de jalón de componentes hasta posición específica realiza el ensamble de los componentes plásticos del producto tazón centrifugo autólogo.

Las mediciones de altura de dos puntos del tazón centrifugo respecto a los elementos internos ensamblados controla la calidad de los ensambles realizados por el equipo. La ejecución de 3 mantenimientos correctivos durante los 5 días de la semana mantiene el equipo trabajando de manera constante dentro de los criterios de calidad. Todo mantenimiento correctivo realizado al equipo genera paros en el proceso de producción ocasionado tiempo muerto, acumulando al año 104 horas de tiempo muerto traducidas en pérdidas monetarias.

El propósito de estudio consiste en diseñar un sistema de sujeción mediante mandril tipo collet libre de mantenimiento correctivo entregando las mismas salidas de mediciones de altura 1 y 2 manteniendo el cpk del proceso como solución al problema presentado por el equipo actual, basados en los conceptos necesarios para determinaciones de fuerzas de ensamble traducidas en presiones de actuadores neumáticos para el movimiento de mecanismos.

Capítulo 2. Antecedentes

La autotransfusión es la administración a un individuo de sangre o sus componentes obtenidos de él mismo en forma previa. La autotransfusión es un procedimiento seguro, fácil, económico y altamente efectivo, elimina prácticamente el riesgo de infecciones de transmisión sanguínea y aloinmunización (Jackson Medel., 1982).

El sistema de autotransfusión Autóloga tiene como finalidad la recolección, concentración, lavado y re-infusión de sangre autóloga. Abarca distintas áreas de aplicación:

- General, cardiovascular, ortopédica, vascular, plástico/reconstructiva, ginecológica y cirugía neuroquirúrgica.
- Áreas de tratamiento posoperativo.

El sistema de autotransfusión Autóloga opera mediante la separación de la sangre en sus componentes individuales por medio del centrifugado. La sangre al ser una mezcla biológica ideal puede adaptarse a esta técnica, debido al ser una combinación de elementos heterogéneos con densidades significativamente diferentes. Al ser sometido a una fuerza centrífuga, los componentes de la sangre migran de manera relativa a sus respectivas densidades, los componentes con alta densidad son movidos lejos del eje de rotación (Medtronic, 2006). Los elementos recuperados y removidos de la sangre mediante el centrifugado son:

Recuperado:

- Glóbulos rojos lavados y empacados.

Removidos (materiales menos densos respecto a los glóbulos rojos)

- Lípidos y grasas.
- Hemoglobina libre de plasma.
- Agentes farmacológicos.
- Plaquetas activadas.
- Soluciones de riego.
- Factores de coagulación activados.

Mientras la sangre continúa entrando en tazón (Bowl), los glóbulos rojos acumulados comienzan a ocupar más volumen del tazón y el exceso de plasma es empujado sobre los glóbulos rojos. Cuando el volumen total de tazón excede, el exceso de plasma sale del tazón a través de la salida de residuos hacia la bolsa de desechos mediante manguera. Los glóbulos rojos contaminados son lavados con solución salina isotónica.

Al finalizar el lavado, los glóbulos rojos limpios y empacados son transferidos a la bolsa de retención invirtiendo la rotación de la bomba de fluido encargada de extraer sangre de la base del cuenco transferirla a la bolsa de retención a través del tubo adjunto. La sangre es transferida a una bolsa de transferencia de sangre y luego al paciente.

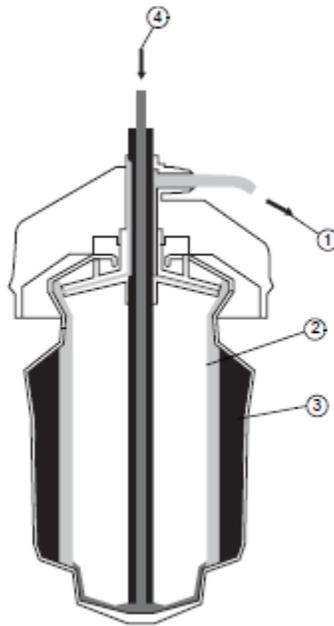


Figura 1. Ensamble de tazón centrífugo autólogo.

Fuente: (Medtronic, 2006).

Las partes y elementos del ensamble de tazón centrífugo autólogo son ilustrados en la Figura 1, donde:

1. Salida de residuo
2. Plasma
3. Glóbulos rojos
4. Entrada de sangre.

Medtronic México fabrica los ensambles de tazón centrífugo Autólogo. El proceso de fabricación del ensamble de tazón centrífugo consta de los pasos plasmados en la Figura 2.



Figura 2. Proceso de ensamble de tazón centrífugo

Fuente: (Medtronic, 2006).

Máquinas y sistemas semiautomatizados son usados para realizar los ensambles de componentes del tazón centrífugo. Los componentes del tazón centrífugo son el subensamble de tazón con tapa plateada y tapa centrífuga mostrados en la Figura 3.

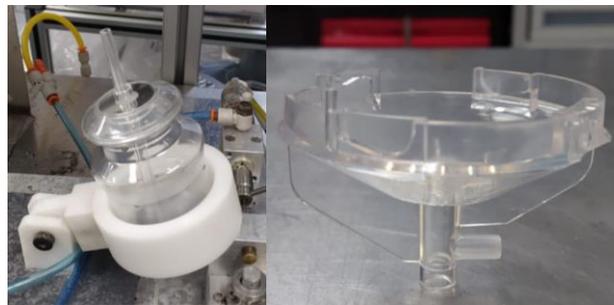


Figura 3. Subensamble tazón con tapa plateada y popote, tapa centrífuga

Fuente: (Medtronic, 2006).

Un equipo semiautomatizado realiza el ensamble de los componentes mostrados anteriormente, el sistema consiste en un equipo automatizado conformado por los elementos mostrados en la Figura 4.

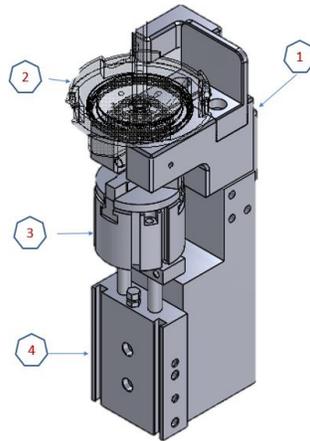


Figura 4. Equipo de Ensamblaje de popote con tazón en tapa centrífuga. (1) Base de tapa centrífuga. (2) Subensamble tapa centrífuga con tazón y popote. (3) Herramienta de sujeción de popote o gripper. (4) Pistón de jalado de popote

Fuente: (Medtronic, 2006).

El equipo está conformado de dos partes principales, el mecanismo de sujeción de popote con tracción y fuerza determinada con el objetivo de evitar deformación en el componente, y el sistema de jalón hacia la posición especificada sujetando en todo momento la tapa centrífuga, dicha parte es un elemento fijo en el sistema no sujeto a movimiento en campo. Los componentes y secuencia de movimientos para el ensamblaje son mostrados en la figura 5.

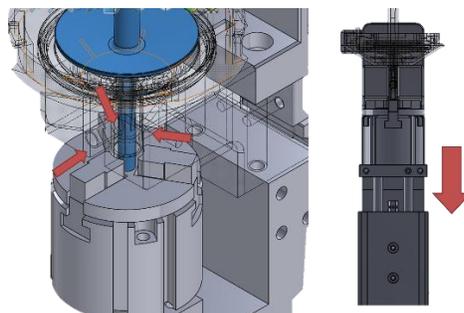


Figura 5. Mecanismo de sujeción y sistema de jalón de equipo de ensamblaje

Fuente: (Medtronic, 2006).

La calidad del ensamblaje es controlada mediante la medición de altura respecto a dos puntos del tazón de los componentes internos del subensamble. Un micrómetro calibrado de marca Mitutoyo junto a bases metálicas de sujeción realiza las mediciones en busca valores de altura del popote respecto a los componentes tapa plateada y tazón:

- Medición 1 – Palpado de popote con tapa plateada > 0.1260 in.
- Medición 2 – Palpado popote con cuello de tazón = 0.0350 – 0.080

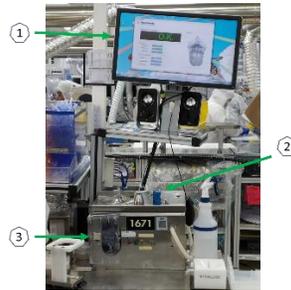


Figura 6. Sistema de medición de subensamble. (1) Interfaz gráfica, (2) base metálica de sujeción, (3) micrómetro mitutoyo calibrado.

Fuente: (Medtronic, 2006).

La figura 6 muestra la estación de medición usada para corroborar las mediciones de altura 1 y 2 con el objetivo de corroborar un correcto ensamble ejecutado en la estación anterior. El ensamble de los componentes anteriormente mencionados es realizado mediante una unión de tipo ajuste a presión. Los ajustes a presión suceden en el ensamble de un eje con otra pieza introduciéndolo en un orificio ligeramente más pequeño (Clive Maier, Econology LTD, 2004).

Este tipo de ensamble puede diseñarse para unión de piezas plásticas o de tipo metálicas, suelen ser simple y de muy bajo costo.

2.1 Ensamblados plásticos de ajuste a presión

Es necesario especificar una correcta cantidad de interferencia entre elementos a la hora de realizar el diseño de un ajuste a presión. La ecuación siguiente es derivada del cálculo de teoría clásica para cilindros de pared ancha donde :

$$K = \frac{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \quad (1) \quad (\text{Clive Maier, Econology LTD, 2004})$$

Con:

$$W = \frac{Sdl\pi\mu}{K} \quad (2) \quad (\text{Clive Maier, Econology LTD, 2004})$$

Donde :

S = Estrés de diseño.

K = Factor Geometrico.

μ = Coeficiente de fricción.

W definida como la fuerza requerida para realizar el ajuste a presión y unión de los componentes plásticos de interés, mediante el grafico de la figura 7.

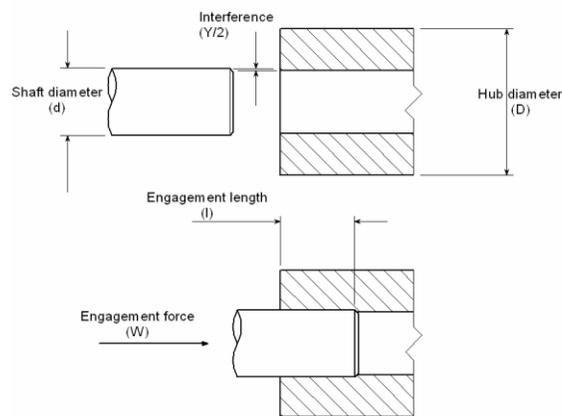


Figura 7. Parámetros de ajuste a presión

Fuente: (Clive Maier, Econology LTD, 2004).

Frecuentemente los términos "soporte" y "fijación" son confusas o usadas una en vez de la otra; Sin embargo, de acuerdo con (Carr Lane Manufacturing Co., 1992) hay diferencias claras entre estas dos herramientas. Aunque mucha gente tenga sus definiciones propias, una para soporte y otra para fijación, hay una distinción universal entre las dos. ambos, soportes y fijaciones, retienen, apoyan y ubicación la pieza de trabajo.

En el libro (Boyes William, 1989) son identificados y definidos los principales tipos de elementos para soporte y fijación:

- Posicionadores o plantillas
- Sujetadores

- Herramientas
- Porta piezas o sujetador de trabajo

2.2 Posicionadores o Plantillas

Las plantillas más comunes son usadas para taladrar y sostener guías o casquillos. Estas funciones son fundamentalmente lo mismo. La diferencia yace en el tamaño, tipo, y colocación de la guía o casquillo. Comúnmente los soportes tienen guías más grandes respecto a los casquillos. Estos casquillos pueden también tener las ranuras internas para lograr la lubricación de la barra sujetadora. En el taller, para perforar las plantillas son comúnmente más usadas por su forma. Las plantillas para taladro son usadas para perforar, puntear, ensanchar, achaflanar, abocardar, avellanar, y las operaciones similares (Hardinge Corporation, 2010). Ocasionalmente, las perforaciones de las plantillas son usadas también para ensamblar y trabajar con ellas. En estas situaciones, los casquillos orientan alfileres, clavijas, u otros elementos de ensamble. Existe unas dos configuraciones típicas para orientación de un cortador mostrada en la figura 8 y figura 9.

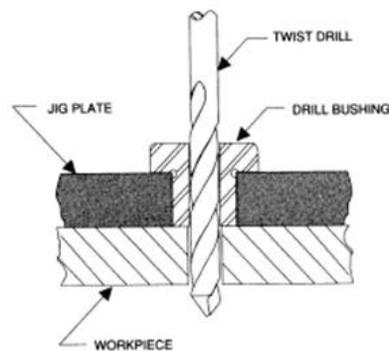


Figura 8. Orientación de herramienta cortadora mediante uso de casquillo.

Fuente: (Carr Lane Manufacturing Co., 1992)

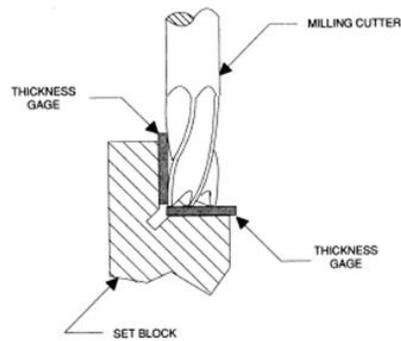


Figura 9. Referenciación de herramienta cortadora mediante uso de un bloque de conjunto.

Fuente: (Carr Lane Manufacturing Co., 1992)

Las aplicaciones especializadas en la industria han contribuido al desarrollo de posicionadores especialmente para taladrar.

2.3 Sujetadores

Los sujetadores tienen mucho más alcance de aplicación en comparativa a los posicionadores. Esta porta piezas definidos en (Henriksen, 2010) son diseñados para aplicarse en donde las herramientas no pueden orientarse tan fácilmente como un taladro. Los sujetadores pueden localizar, bordes, centro, o el uso de bloques calibradores para ubicar la herramienta actuadora. Un sujetador puede usarse en cualquier operación de precisión para la posición de una herramienta a la pieza de trabajo.

La función de los sujetadores es clasificada por su uso o por su tipo, también como herramienta básica. Así, aunque una herramienta pueda llamarse simplemente un sujetador mecánico, podría también ser definido adicionalmente como sujetador para fresar, o como sujetador mecánico tipo plato. En la figura 10 son mostrados los principales tipos de sujetadores de herramienta para maquinado convencional. Así mismo la figura 11 ejemplifica un sujetador de herramienta cortadora.



Figura 10. Sujetadores de herramienta de banco, angular y radio giratorio.

Fuente: (Micro Machine Company, 2007)



Figura 11. Sujetador de herramienta para Cortador.

Fuente: (Hardinge Corporation, 2010)

2.4 Herramienta

El término "herramienta" definido por (Benito, 2000) comprende ambos, plantillas y sujetadores. Esencialmente, es un término genérico descriptivo de una porta pieza o sujetador de trabajo identificado con una parte o la máquina. A veces el término "herramienta" refiriere a una herramienta de corte o una herramienta de máquina, es muy importante para hacer distinciones claras.

2.5 Porta pieza o Sujetador de trabajo.

Otro término usado para describir ambos plantillas y sujetadores es " Porta pieza " tal como describe (Lantrip Jeff, 2003) . Un término grande identificado con cualquier dispositivo retenedor de los apoyos, y ubica una pieza de trabajo. Además de las plantillas y sujetadores, tornillo de banco, boquillas, grapas, y otros dispositivos similares son también porta piezas o sujetadores de trabajo. Existe un tipo particular de herramienta de sujeción usado para elementos con diferente superficie geométrica usados generalmente en máquinas herramientas de tipo torno llamado mandril.

2.6 Mandril

En el escrito (Kalpakjian Serope, 2001) son definidos los mandriles como es un tipo especial de prensa usada para sujetar un objeto, usualmente un objeto con simetría radial, en especial un objeto cilíndrico. Es más comúnmente usado para sujetar una herramienta rotativa (como las brocas en una taladradora) o en una pieza de trabajo en rotación (como la barra en eje del cabezal fijo de un torno). Algunos mandriles también pueden sujetar objetos con forma irregular (careciente de simetría radial). En algunas aplicaciones, la herramienta o la pieza de trabajo sujeta por el mandril permanece estacionaria mientras otra herramienta o pieza de trabajo gira (por ejemplo, una broca en el eje del contrapunto de un torno, o una pieza circular siendo cortada por una fresadora), la figura 12 ilustra la aplicación del mandril como herramienta de contrapunto en el torno.



Figura 12. Mandril utilizado como porta herramienta en el eje contra punto del torno.

Fuente: (Kalpakjian Serope, 2001).

Los tipos de mandriles mayormente utilizados descritos por (Maquiver MX, 2015) son:

- Mandril independiente de cuatro mordazas: El mandril independiente de cuatro mordazas es el tipo de mandril para torno más barato. En este mandril, cada mordaza es operado de forma independiente por un tornillo diferente.
- Mandril de desplazamiento, de tres o seis mordazas: Los mandriles de desplazamiento, de tres o seis mordazas, son operados con una llave para ajustar todas las mordazas a la vez. Los mandriles de desplazamiento son muy precisos, rápidos y eficientes y pueden trabajar con cambios de milésimas de pulgada (1 milésima de pulgada = 0,0254 milímetros).
- Mandril combinado de cuatro mordazas: Los mandriles combinados de cuatro mordazas combinan aspectos de los mandriles independientes de cuatro mordazas y los mandriles de desplazamiento. En un mandril combinado de cuatro mordazas, cada mordaza puede ajustarse de forma independiente, pero todas abren y cierran al mismo tiempo usando una llave.
- Portabrocas Jacobs: Los portabrocas Jacobs son otro tipo común de mandril de función similar a los mandriles de tres mordazas, pero diseñados con asideros largos y precisos para su uso en brocas y material redondo.

Los distintos tipos de mandriles de mordazas móviles y portabrocas Jacobs en conjunto de su accesorio de apertura y cierre son mostrados en las figuras 13 y 14.



Figura 13. Mandril Independiente de cuatro mordazas, mandril de desplazamiento de tres mordazas y mandril combinado de cuatro mordazas

Fuente: (Maquiver MX, 2015).



Figura 14. Portabrocas Jacobs

Fuente: (Donaldson Cyril, 1973).

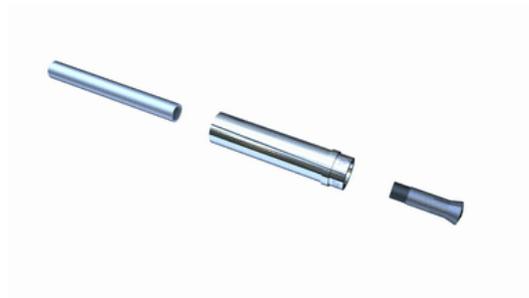
Los mandriles mostrados anteriormente representan el grupo de sujetadores auxiliados por llaves para apertura y cerrado de sujeción. Sin embargo, existen mandriles libres de uso de aditamentos auxiliares. Los diseños sin llaves ofrecen la conveniencia de un prensado o desaprensado más rápido y fácil a expensas de una mayor fuerza de agarre para sujetar la herramienta o la pieza de trabajo. Este tipo de mandriles son conocidos como Collets.

2.7 Collet

Una boquilla de sujeción o collet es un subtipo de mandril, su funcionamiento consiste en formar un cuello alrededor de un objeto apresándolo con una gran fuerza al ajustarse, por lo general mediante un collar externo aguzado (Gorgeff, 2004).

Consta de un mango con (normalmente) una superficie interna cilíndrica y una superficie exterior cónica. El collet puede ser empujado contra un sector cónico para contraer su superficie interna tomando un diámetro levemente menor, y la herramienta o pieza para fijarla con firmeza.

El ensamble común de un collet en conjunto de sus contrapartes es mostrado en la Figura 15.



*Figura 15. Sub ensamble de boquilla de sujeción (extremo derecho), husillo (medio) y barra guía (azul) .
Fuente: (Gorgeff, 2004).*

Independientemente del diseño del collet, el principio operativo es el mismo: apretar el collet contra la herramienta o pieza a fijar, produciendo una elevada fricción estática y una alineación precisa.

Los collets tiene un rango relativamente reducido de diámetros de aceptación y es necesario disponer de un gran número de boquillas de sujeción para poder aceptar un conjunto de herramientas de distintos diámetros. Ello representa una desventaja, precisa una mayor inversión de capital y lo hace menos apropiado para utilizarlo en los taladros eléctricos. Sin embargo, la ventaja del collet descritos en (Stenabaugh Peter, 2005) comparado con otros tipos de mandriles yace al combinar distintas características en un mandril; por esta razón son útiles para tareas repetitivas.

Una comparativa contra principales tipos de mandriles son definidas en Tabla 1.

Tabla 1. Comparativa de distintos tipos de mandriles y características.

Fuente: (Stenabaugh Peter, 2005).

Característica	Collet	Mandril con mordaza a rosca	Mandril con mordazas independientes
Ajuste rápido	✓ Confiable	✓ Confiable	✗ Generalmente no
Auto cendrado	✓ Confiable	✓ Confiable	✗ Nunca
Ajuste fuerte	✓ Confiable	A veces	✓ Confiable
Resistencia para aflojarse	✓ Confiable	A veces	✓ Confiable
Centrado preciso (excentricidad inferior a 0.13 mm TIR y por lo general menos de 0.025mm)	✓ Confiable	✗ Poco confiable	✓ Confiable (Requiere tiempo y habilidad)

2.8 Cálculo de fuerza de sujeción para mandril tipo collet

El funcionamiento interno básico del collet muestra el ensamble de sujeción compuesto por el mandril, el eje de empuje y el collet. Cuando la fuerza de empuje es aplicada mediante el eje, el expansor empujara el mandril en posición de la fuerza, el collet expande y sujeta la parte sobre su superficie (Mevcha., 2017). Al presentarse contacto entre el mandril con el eje de empuje y collet son generados condiciones dinámicas como la fricción ilustrado en la figura 16.

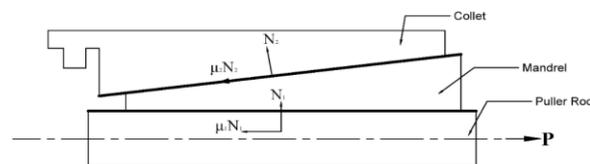


Figura 16. Sistema collet, mandril y eje de empuje.

Fuente: (Mevcha., 2017).

En el estudio “Collets y Fricción” (Andersenn Hill., 2005) fueron derivadas ecuaciones mediante el uso de la teoría de fricción para determinar la fuerza de sujeción de un collet sencillo. Con una fuerza de empuje (P), es posible encontrar la fuerza de sujeción (N).

Asumiendo un collet conformado por n numero de rendijas:

$$N_2 = n * N \quad (3) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

En base a la figura 16, resolviendo fuerzas de manera horizontal:

$$P = \mu_1 N_1 + \mu_2 N_2 \cos(\alpha) + N_2 \sin(\alpha) \quad (4) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

Resolviendo fuerzas de manera vertical:

$$N_1 = N_2 \cos(\alpha) + \mu_2 N_2 \sin(\alpha) \quad (5) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

Mediante la sustitución y despeje de las ecuaciones anteriores:

$$P = N_2((\mu_1 + \mu_2) \cos(\alpha) - (1 - \mu_1 \mu_2) \sin(\alpha)) \quad (6) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

Donde:

N_1 = Fuerza normal generada por fricción entre mandril y eje de empuje

N_2 = Fuerza normal generada por fricción entre mandril y collet.

α = Angulo de Collet

n = Numero de rendijas de collet.

P = Fuerza de empuje.

μ_1 = Coeficiente de fricción de superficie de unión entre eje de empuje y mandril.

μ_2 = Coeficiente de fricción de superficie de unión entre eje de empuje y mandril.

Los cálculos mostrados en el apartado anterior forman la base del desarrollo del objeto de estudio.

Con el paso de los años y la tecnología los dispositivos auxiliares para sujeción y retención de piezas o herramientas han evolucionado. Desde componentes sencillos hasta subensambles complejos adecuados al fin u objetivo a cumplir en aplicaciones simples de tipo trabajo en máquina herramienta hasta su desarrollo en conjunto con la robótica.

2.8 Efectores finales.

Un efector final es un dispositivo o herramienta conectada al extremo de un robot para realizar diversas aplicaciones o tareas, la naturaleza de los efectores finales depende de la tarea prevista, define (Raul, 2012).

Algunos de los efectores finales más conocidos como pinzas de 3 garras, pinza universal neumática o pinza para robot quirúrgica son ejemplificados en la figura 17.



Figura 17. Diferentes tipos de efectores finales.

Fuente: (Raul, 2012).

Algunos investigadores llegan a la siguiente conclusión “la mano humana es un dispositivo avanzado después de haber evolucionado por selección natural” . Por lo tanto, mas no de manera definitiva, los ingenieros deben imitar las manos del hombre en el diseño y la construcción de herramientas finales de un robot para un mejor resultado. Las bases de la cinemática y estructura interna de la mano usadas como base para la definición de efectores finales son mostradas en la figura 18.

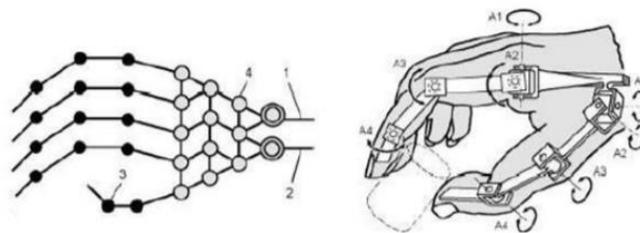


Figura 18. La mano humana.

Fuente: (Raul, 2012).

2.9 Pinzas (Gripper)

Los dispositivos de movimiento imitan los movimientos de las personas; en el caso de la pinza, imitan los de los dedos. Una pinza es un dispositivo sujetador de un objeto permitiendo su manipulación. Tiene la capacidad de retener y liberar un objeto mientras ejecuta alguna acción. Los dedos no son parte de la pinza; son herramientas a la medida especializado usados para sujetar el objeto y son conocidos como "mordazas" (Omega a Spectris Company, 2015). El ensamble común de los dedos o mordazas de las pinzas efectoras final son ilustrados en la figura 19.

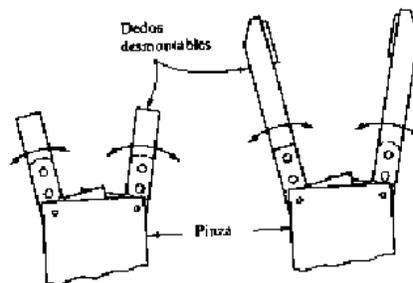


Figura 19. Elementos de una pinza efectora final.

Fuente: (Victor, 2003).

Las pinzas o gripper son clasificados dependiendo sus características.

Por su acción de sujeción:

- Externa: Éste es el método más popular de sujetar objetos; es el más simple y requiere la longitud de carrera más corta. Cuando cierran las mordazas de la pinza, la fuerza de cierre de la pinza sujeta ese objeto.
- Interna: En algunas aplicaciones, la geometría del objeto o la necesidad de acceder al exterior del objeto exigirán al objeto sostenerse desde el centro. En este caso la fuerza de apertura de la pinza estará sosteniendo el objeto.

Ambos tipos de configuración por acción de sujeción interna y externa son mostrados en la figura 20 visto desde una vista frontal.

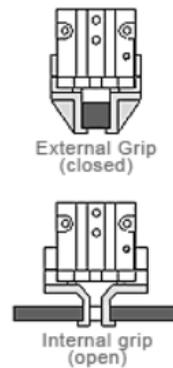


Figura 20. Acción de sujeción externa y sujeción interna.

Fuente: (Oscar Aviles, 2005)

Por tipo de sujeción mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de pinzas por tipo de sujeción.

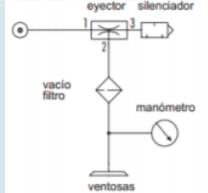
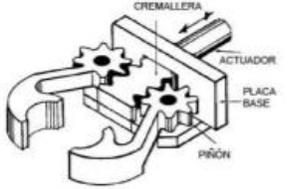
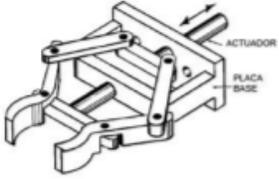
Fuente: (Oscar Aviles, 2005)

Tipo de Sujeción	Descripción	Imagen
Sujeción por ventosa	Este tipo de sujeción funciona con un generador de vacío. La ventosa es la superficie en contacto con el objeto a trasladar.	
Sujeción por pinza de desplazamiento angular	Las mordazas son pivoteadas desde un extremo y con movimiento sincronizado y auto centrante. Este movimiento es angular y va desde el ángulo de inicio hasta el ángulo de contacto con la pieza y produce la sujeción.	
Sujeción por pinza de desplazamiento lineal	Este sistema de sujeción existe para dos como para tres garras. Es el gripper más común pues su movimiento es sincronizado y auto centrante	
Pinza de, más de 2 garras	Es similar a la pinza de desplazamiento lineal, pero en este caso cuentan con tres o cuatro garras de sujeción con movimiento sincronizado.	

Tipo de accionamiento, descrito en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de accionamiento de pinzas, ventajas y desventajas

Fuente: (Oscar Aviles, 2005).

Tipo de Sujeción	Descripción	Ventajas y desventajas	
Principio de generación de presión de vacío	Refiere a vacío a la presión de aire por debajo de la presión atmosférica normal.	<ul style="list-style-type: none"> - No es complejo - Fácil de instalar - No tiene gran cantidad de componentes, fácil mantenimiento - No es auto-centrante - El agarre depende de la superficie en contacto con el prensor 	
Principio de gancho de cuna cinemático	Este principio, consiste en un soporte y una cuña. Cuando genera una fuerza hacia la cuña esta tiende a desplazar el soporte o viceversa, produciendo movimiento debido a las superficies planas opuestas en contacto	<ul style="list-style-type: none"> - Es auto-centrante - Tiene alta fuerza de agarre - Permite un agarre exterior como interior de la pieza - Depende de la superficie exterior o interior de la pieza para poder cogerla adecuadamente. 	
Principio de piñón cremallera	Este principio basa el abrir y cerrar del gripper en un sistema piñón y cremallera. Al actuar una fuerza en la cremallera permite el giro de los piñones sujetos a las pinzas.	<ul style="list-style-type: none"> - Es auto-centrante y sincronizado - Alta fuerza de sujeción - Posibilidad de trabajar con dos o tres pinzas - Para el caso dos cremalleras movidas por piñón para alojar las pinzas, requiere un gran tamaño de estas para alojar piezas grandes. - Incrementa el tamaño del gripper 	
Principio de palanca	Este principio consiste en generar una fuerza de palanca para impulsar el movimiento de las garras del gripper. Consta de un actuador impulsor de un cilindro conectado a un extremo de una biela. Al moverse la biela, transmite el movimiento de las garras del gripper.	<ul style="list-style-type: none"> - Es auto-centrante gracias a la palanca - Es un sistema simple de funcionamiento - La fricción en la palanca puede generar desgaste y pérdidas de fuerza de agarre. 	

2.10 Cálculo de Fuerzas y presiones para cilindros neumáticos.

Los efectores finales neumáticos de tipo garra o gripper cuentan con un mecanismo interno igual al de los pistones neumáticos convencionales de acuerdo con (Engineering ToolBox, 2008), la figura 21 muestra la composición interna de los pistones neumáticos y su interacción con los parámetros de fuerza y presión.

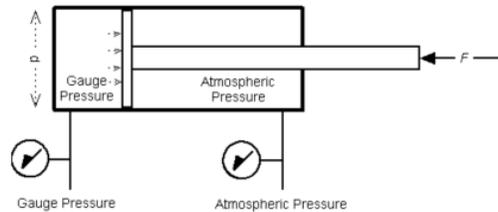


Figura 21. Composición interna de cilindro neumático

Fuente: (Engineering ToolBox, 2008).

El cálculo de fuerza es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$F = pA \quad (7) \quad (\text{Engineering ToolBox, 2008})$$

Donde:

F = Fuerza ejercida.

p = Presión de aire comprimido en Pa.

A = Área de cavidad de embolo.

d = Diámetro del embolo.

2.11 Teoría esfuerzo – deformación

Fuerza y presión son conceptos relacionados entre sí en el ámbito mecánico. Las propiedades mecánicas describen el comportamiento material ante la aplicación de fuerzas externas (UCA, 2008). Para propósitos de análisis, las fuerzas aplicadas sobre un material son clasificadas:

- Fuerza de tensión

- Fuerza de compresión
- Fuerza cortante
- Fuerza de torsión

Cualquier fuerza externa aplicada sobre un material causa su deformación. Para el caso de una fuerza en tensión el material aumenta su longitud en sentido de la aplicación de la fuerza, y corta en dirección transversal a la fuerza aplicada, ilustrado en la figura 22.

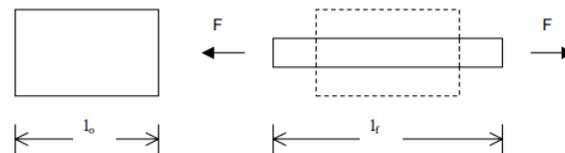


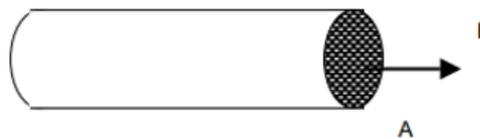
Figura 22. Deformación de objeto sometido a fuerzas de tensión

Fuente: (UCA, 2008).

La deformación del material consiste en el cambio en la longitud a lo largo de la línea de aplicación de la fuerza. En forma matemática:

$$\text{Deformacion} = \Delta L = L_f - L_o \quad (8) \quad (\text{UCA, 2008})$$

Para estudiar la reacción de los materiales a las fuerzas externas aplicadas es utilizado el concepto de esfuerzo, cuyos elementos significativos e interacción son mostradas en la figura 23.



$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Area de aplicacion de fuerza}}$$

Figura 23. Esfuerzo sobre elemento.

Fuente: (UCA, 2008).

El esfuerzo tiene las mismas unidades de la presión (unidades de fuerza por unidad de área).
Existen dos tipos de esfuerzo para el caso de fuerzas aplicadas en tensión:

- Esfuerzo de Ingeniería.
- Esfuerzo verdadero.

A su vez existen dos tipos de deformación unitaria:

- Deformación unitaria de Ingeniería.
- Deformación unitaria verdadera.

En un caso de estudio de una barra sometido a fuerzas externas, suponiendo una fuerza inicial aplicada con valor cero y luego su magnitud incrementa gradualmente hasta romper la barra, cada cierto tiempo es graficado el esfuerzo aplicado contra la deformación unitaria de la barra. Esta grafica lleva el nombre de curva esfuerzo – deformación unitaria y es una propiedad mecánica del material del material usado para fabricar la barra, ilustrada en la figura 24.

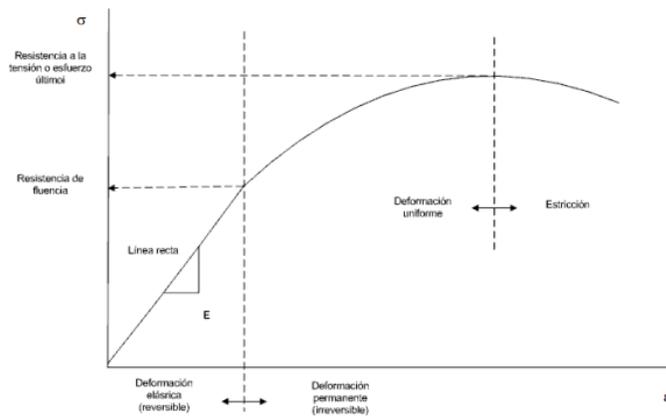


Figura 24. Curva esfuerzo- deformación unitaria.

Fuente: (UCA, 2008).

De la curva esfuerzo – deformación unitaria son obtenidas varias propiedades mecánicas en tensión para el material:

1. Resistencia a la fluencia (σ_y).

Valor del esfuerzo aplicado sobre el material para iniciar su deformación permanente.

2. Módulo de elasticidad (E).

Es la pendiente de la línea recta formada en la zona elástica de la curva. Medida de rigidez del material.

3. Módulo de resiliencia (E_R).

Valor numérico del área bajo la curva en la zona elástica. Representa energía por unidad de volumen absorbida por el material al deformarse elásticamente.

4. Relación e Poisson (μ).

Relación entre la deformación unitaria longitudinal y la deformación unitaria.

5. Resistencia a la tensión o esfuerzo ultimo (σ_u).

Valor máximo del esfuerzo de ingeniera aplicado sobre el material. Cuando el esfuerzo aplicado es igual a la resistencia de tensión, ocasiona la estricción y luego la fractura del material.

6. Ductilidad

Medida de la cantidad de deformación plástica generada en un material antes de su fractura.

2.12 Desgaste mecánico por fricción

De la misma manera existe otro efecto generado en un objeto sometido a reacciones de fuerzas externas ejercidas por un cuerpo en contacto.

El desgaste mecánico es la pérdida de masa de la superficie de un material solido por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto. Es específicamente la eliminación de material de una superficie como resultado de una acción mecánica (Oviedo, 2010).

Una de las ecuaciones más generales para calcular el desgaste fue desarrollada por Arcar en 1953 (Alfred, 2006).

$$V = K \frac{Lx}{H} \quad (9) \quad (\text{Oviedo, 2010})$$

En donde V es el Volumen perdido por desgaste, H es la Dureza del material (en caso de tener diferentes materiales en contacto, debe seleccionar el de menor dureza). L es la Fuerza Normal, x es la distancia de deslizamiento y K es un factor adimensional constante conocido como el coeficiente de desgaste. Este factor depende del par de materiales en contacto. En la literatura puede encontrarse este factor relacionado con la dureza de los materiales en contacto.

Asumiendo un volumen rectangular (área transversal constante) es perdido por el desgaste. La presentación de pérdida de material como prisma rectangular y sus cambios en términos de altura son mostrados en la figura 25.

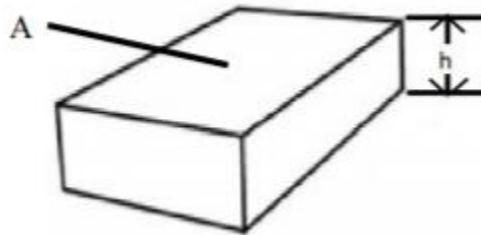


Figura 25. Representación de volumen rectangular perdido.

Fuente: (Oviedo, 2010).

La ecuación hace referencia al volumen de una pieza rectangular donde V es el volumen perdido, A el área de desgaste y h la altura perdida.

$$V = Ah \quad (10) \quad (\text{Oviedo, 2010})$$

Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación para calcular el cambio de altura por contacto de fricción:

$$Ah = K \frac{Lx}{H} \quad (11) \quad (\text{Oviedo, 2010})$$

$$(12) \quad (\text{Oviedo, 2010})$$

$$h = K \frac{\left(\frac{L}{A}\right)^x}{H}$$

De esta manera conociendo las fuerzas actuantes entre dos elementos sometidos a fricción constante es posible conocer con sus propiedades mecánicas la pérdida de material en cada evento de contacto.

2.13 Prueba de Hipótesis para diferencia en medias, varianzas desconocidas

Considerado una prueba de hipótesis sobre la diferencia en las medias de dos distribuciones normales $\mu_1 - \mu_2$ donde las varianzas $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$. Las Hipótesis son probadas mediante el uso de un estadístico t (Montgomery, 2003).

2.14 Elección del tamaño de muestra

Mediante el uso de curvas de operación características para evaluar el error tipo II en el caso de $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$. Para la Hipótesis alternativa de dos colas $H_1 = \mu_1 - \mu_2 = \Delta \neq \Delta_0$, cuando $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ y $n_1 = n_2 = n$ son usadas las curvas características con:

$$d = \frac{\Delta - \Delta_0}{2\sigma} \quad (13) \quad (\text{Montgomery, 2003})$$

Donde Δ es la verdadera diferencia en las medias de interés. Las curvas deben ser consultadas con el tamaño de la muestra dado por $n^* = 2n - 1$. Por lo tanto:

$$n = \frac{n^* + 1}{2} \quad (14) \quad (\text{Montgomery, 2003})$$

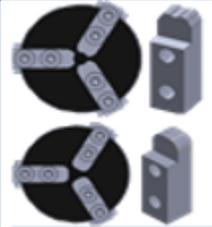
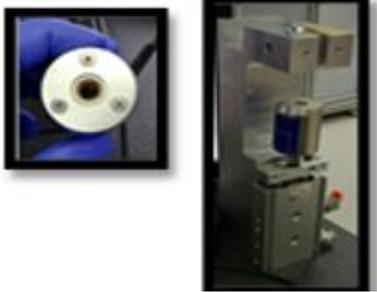
2.15 Línea Base

El ensamble de los componentes tapa plateada, tazón y popote con tapa centrífuga consiste en una unión de componentes por medio de desplazamiento mecánico y agentes adhesivos realizado por un sistema semiautomatizado. Fuerza de sujeción y tracción sobre el elemento popote en un área cilíndrica de tamaño reducido ocasionan dificultad para realizar el ensamble. Mediante un mantenimiento correctivo realizado 3 veces al día los 5 días de la semana es posible mantener el equipo trabajando de manera constante y dentro de los criterios de calidad. Cada mantenimiento preventivo tiene una duración de 8 min lo cual genera 24 minutos de tiempo muerto en la línea de producción generando al año un acumulado de 104 horas sin producir al año. Medtronic México cuenta con registros de los mantenimientos correctivos realizados al equipo de ensamble anteriormente mencionado.

Distintas propuestas de solución de máquinas libres de mantenimiento correctivo al sistema de sujeción y jalón para el problema del ensamble del tazón centrífugo han sido desarrolladas durante 2015 y 2020 , sin tener respuesta positiva. La tabla 4 muestra las distintas propuestas y experimentos realizados para el problema del sistema de sujeción del componente popote del tazón centrífugo.

Tabla 4. Propuestas de solución a sistema de sujeción para ensamble de tazón centrífugo.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Sistema de Sujeción	Imagen	Ventajas	Desventajas
Gripper-Mordazas de Delrin con vértices- Recubrimiento Tubo de silicón.		<p>Correcta sujeción de Popote de ensamble tazón centrífugo.</p> <p>No desprende partículas sobre popote</p>	<p>Corto tiempo de vida (150 ciclos).</p> <p>Requiere constante mantenimiento correctivo.</p>
Gripper – Mordazas de aluminio vulcanizadas.		<p>Mayor fricción y sujeción de popote.</p> <p>No requiere tubo de silicón.</p>	<p>Menor tiempo de vida (10 ciclos).</p> <p>Costo elevado.</p> <p>Desprende partículas sobre popote.</p>
Gripper – Mordazas de delrin con redondeos – recubrimiento tubo de silicón.		<p>No daña recubrimiento de silicón.</p> <p>Mayor tiempo de vida de tubo de silicón.</p>	<p>Sujeción de popote no efectiva (menor área de contacto)</p> <p>Tubos de silicón de recubrimiento mordazas recorridos.</p>
Conector con Diafragma de neopreno.		<p>Mayor área de contacto con popote.</p> <p>Mejor sujeción de popote.</p> <p>Sujeción de manera uniforme (área constante).</p>	<p>Solvente adhesivo para ensamble de tazón centrífugo daña diafragma (corto tiempo de vida 50 ciclos)</p> <p>Costo elevado.</p>

Capítulo 3. Definición del Problema

3.1 Justificación

El costo por hora laborada de la línea de producción del Sistema autólogo tiene un costo de \$197.56. Los registros de tiempo muerto obtenidos al año generan una pérdida anual de \$20,456.24, acumulado de al menos de 2015 a 2020 generando una pérdida total de \$102,731.20. El no encontrar una alternativa de solución de mínimo mantenimiento correctivo o nulo al sistema de sujeción y jalón generará pérdidas constantes.

3.2 Planteamiento del problema

Una empresa siempre buscará hacer más eficiente el proceso del negocio y minimizar los costos sin afectar la calidad. Por esta razón surgen las siguientes preguntas de investigación e hipótesis:

¿Qué diseño de sujeción de libre mantenimiento correctivo brinda la misma salida en manteniendo el cpk del proceso?

3.2.1 Primer hipótesis

Hipótesis nula

H_0 : Un diseño de mandril tipo collet para la sujeción produce ensambles con medias de medición de altura 1 y 2 iguales al sistema actual manteniendo el cpk del proceso.

Hipótesis alternativa

H_i : Un diseño de mandril tipo collet para la sujeción no produce ensamble con medias de medición de altura 1 y 2 iguales al sistema actual manteniendo el cpk del proceso.

3.2.2 Segunda hipótesis

Hipótesis nula

H_0 : Un sistema de sujeción mediante mandril tipo collet tras 10000 ciclos produce ensambles con medias de medición de alturas 1 y 2 iguales al sistema actual manteniendo el cpk del proceso.

Hipótesis alternativa

H_i : Un sistema de sujeción mediante mandril tipo collet tras 10000 ciclos no produce ensambles con medias de medición de alturas 1 y 2 iguales al sistema actual manteniendo el cpk del proceso.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivos Generales

Eliminar el tiempo muerto del sistema de sujeción del componente plástico popote para el ensamble del tazón centrífugo.

3.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo de sujeción mediante mandril tipo collet capaz de realizar el ensamble del tazón centrífugo.

Capítulo 4. Metodología

La metodología parte de una investigación documental de los conceptos y factores de diseño de un sistema de sujeción mediante el uso de un mandril tipo collet, seguido de una de exploración de campo para poder confirmar o rechazar las hipótesis descritas en el planteamiento del problema.

La figura 26 ilustra la ruta metodológica para la investigación documental.

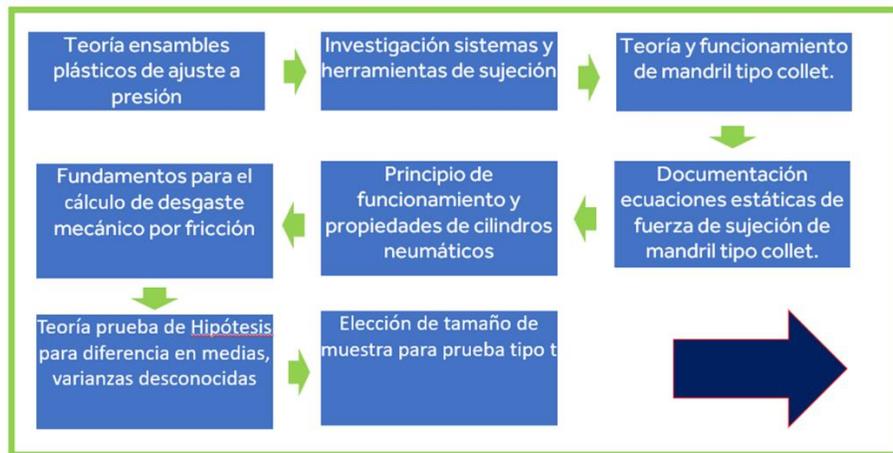


Figura 26. Ruta metodológica de investigación documental.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

4.1 Especificaciones

Los requerimientos de diseño necesarios para el desarrollo de un sistema de sujeción adecuado para el ensamble del tazón centrífugo mediante el uso de un mandril tipo collet accionado por cilindros neumáticos, basado en el sistema existente son definidos en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones de diseño de sujeción requerido.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

LISTA DE REFERENCIA DE ESPECIFICACIONES	
Categoría	Descripción
Función	Sujeción de elemento cilíndrico plástico mediante mandril tipo collet accionado por actuador neumático
Dimensiones	7in x 3.25 in x 2 in
Movimientos	Movimiento axial de manera perpendicular hacia el cuerpo cilíndrico a sujetar. Movimiento axial colineal de base de empuje de collet hacia mandril tipo collet.
Fuerzas	Fuerza calculada para realizar equilibrio estático entre fuerza de sujeción y fuerza de jalón.
Materiales	Metales o materiales con resistencia al desgaste y corrosión por solventes de grado medico (Acero Inoxidable, aluminio anodizado).
Vida útil	Al menos 2500 ciclos de trabajo de ensamble
Mantenimiento	Cambios de elementos sometidos a desgaste con un lapso no menor a 1 semana.

En base a los requerimientos y/o especificaciones planteadas la ruta metodológica de exploración de campo a seguir y pasos son ilustrados en la figura 27.

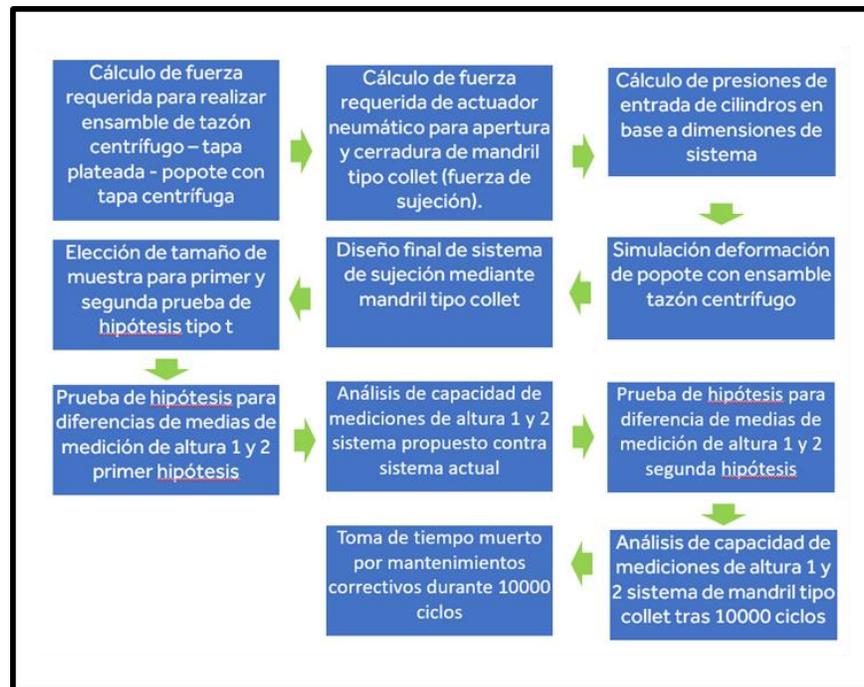


Figura 27. Ruta metodológica exploración de campo.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

4.2 Elección tamaño de muestra.

La población para el caso de estudio corresponde a una porción de órdenes generadas durante un día normal de producción. La cantidad de muestras requeridas fueron calculadas con una diferencia de medias histórica del sistema actual con un valor de 0.00117 in, desviación estándar σ de 0.0016 in.

$$d = \frac{\Delta - \Delta_0}{2\sigma} \quad (15)$$

$$d = \frac{(0.00117)}{2(0.0016)}$$

$$d = 0.370$$

Consultando las curvas OC en conjunto del factor d y una confiabilidad del 90 % con el tamaño de la muestra dado por las curvas OC mostradas en la figura 28.

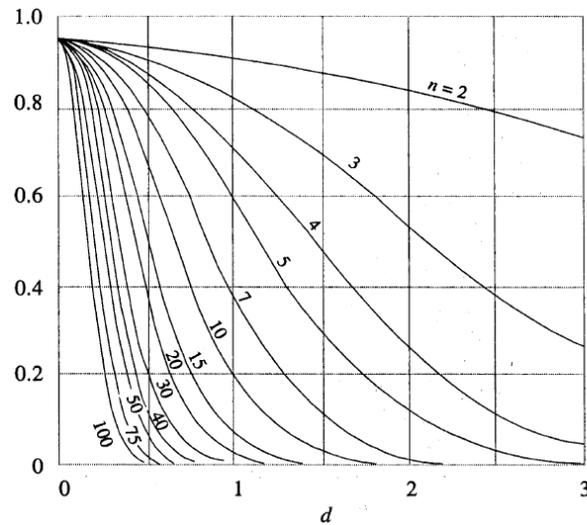


Figura 28. Curvas OC para diferentes valores de n para la prueba t de dos colas con un nivel de significancia de 0.05.

Fuente: (Montgomery, 2003).

$$n^* = 2n - 1: \quad (16)$$

De acuerdo con las curvas OC:

$$n^* = 100$$

$$n = \frac{100 + 1}{2}$$

$$n = 50$$

4.3 Prueba de Hipótesis para diferencia en medias sistema actual contra mecanismo con mandril tipo collet.

Una prueba de Hipótesis de tipo t de dos colas fueron comprobadas las Hipótesis planteadas con el objetivo de determinar si el equipo diseñado es capaz de entregar ensambles de tazón centrífugo de acuerdo con las especificaciones de calidad. El estadístico de prueba t en conjunto con el nivel de significancia de 0.05 in comprobó ambas hipótesis.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (15) \quad (\text{Montgomery, 2003})$$

La ejecución de los estadísticos de prueba para la Primer y Segunda hipótesis para las 50 muestras de medición de altura 1 y medición de altura 2 fueron ejecutados mediante el software minitab y la función 2 sample t hypothesis test, mostrado en la figura 29.

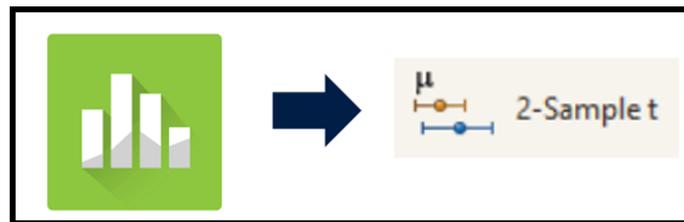


Figura 29. Software minitab y función 2 sample t test.

Fuente: (Elaboración, propia,2020)

4.4 Análisis de capacidad de proceso

La capacidad del proceso fue medida mediante el indicador de capacidad del proceso calculado por:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{LST - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIT}{3\sigma} \right] \quad (16) \quad (\text{Montgomery, 2003})$$

Donde para el caso aplicativo basado en las 50 muestras de mediciones de altura 1 y mediciones de altura 2 de los ensambles realizados tanto por el sistema actual y el sistema

de sujeción mediante mandril tipo collet en conjunto del software minitab con la función capability análisis mostrado en la figura 30 :

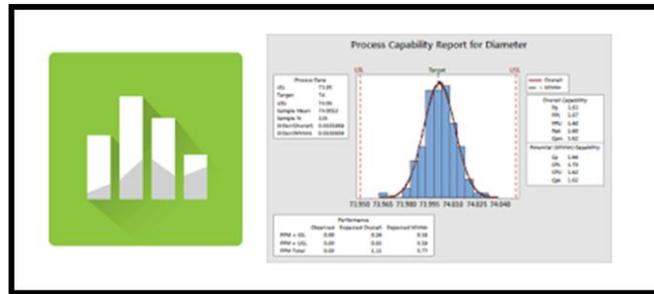


Figura 30. Software minitab y función capability análisis.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Donde:

Medición de altura 1

LST = 0.1260 in

Medición de altura 2

LIT = 0.0350 in

LST = 0.080 in

Buscando obtener al menos en todos los casos Cpk > 1.33.

Los pasos por seguir para ejecutar las pruebas de hipótesis experimento fueron:

Para *Primer Hipotesis*

1. Requerir registro de resultados de mediciones del ultimo lote de producción usando el equipo actual después de haber realizado mantenimiento correctivo.
2. Registrar 50 datos de mediciones.
3. Solicitar a personal de planeación la creación de una orden de ingeniería de 50 piezas de los materiales:
 - a. Tazón.
 - b. Tapa plateada.
 - c. Popote.

- d. Tapa centrífuga.
 - e. Sello dinámico.
4. Agendar el espacio durante la jornada laboral para ejecutar el experimento con la propuesta de solución coordinando con los líderes y supervisores de producción la requisición de 1 operador para realizar los ensambles.
 5. Realizar limpieza del equipo propuesta de solución utilizando toallitas y alcohol de formulación 70/30.
 6. Realizar despeje de línea.
 7. Introducir equipo solución dentro de la línea en la zona de trabajo subsecuente al ensamble previo de interés.
 8. Iniciar ensambles de tazón-tapa plateada- popote con tapa centrífuga usando el equipo solución.
 9. Registrar resultado de medición en equipo de prueba de altura de cada una de las 50 piezas ensambladas.
 10. Realizar una prueba de hipótesis de tipo prueba t de comparación de medias de las dos muestras.
 11. Analizar resultados

Para *Segunda Hipotesis*

12. Realizar despeje de línea.
13. Realizar simulación de desgaste de equipo. Ciclar el sistema solución para ejecutar 10000 ciclos.
14. Ejecutar nuevamente los pasos 8 a 11.

4.5 Criterio de aceptación

La calidad del ensamble será verificada mediante la medición de altura respecto a dos puntos del tazón de los componentes internos del subensamble. Un micrómetro calibrado de marca Mitutoyo junto a bases metálicas de sujeción realiza las mediciones en busca de unos valores de:

- Medición 1 – Palpado de popote con tapa plateada > 0.1260 in.
- Medición 2 – Palpado popote con cuello de tazón = $0.0350 - 0.080$

En conjunto con una inspección visual en busca de grietas o marcas en el elemento popote serán definidos ensambles dentro o fuera de especificación.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Fuerza requerida para realizar ensamble de tazón centrífugo – tapa plateada – popote con tapa centrífuga

El ensamble de los componentes plásticos del tazón centrífugo es realizado mediante la unión con ajuste a presión. Basados en la literatura referenciada en los antecedentes aplicado al objeto de estudio:

Con:

$$K = \frac{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \quad (17) \quad (\text{Clive Maier, Econology LTD, 2004})$$

Y:

$$W = \frac{Sdl\pi\mu}{K} \quad (18) \quad (\text{Clive Maier, Econology LTD, 2004})$$

En el caso de los componentes del ensamble de tazón centrífugo – tapa plateada – popote con tapa centrífuga, la figura 31 establece los elementos con variables de interés.

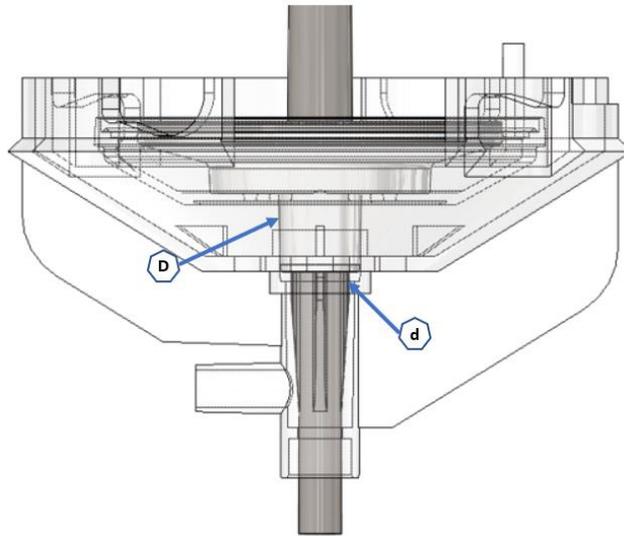


Figura 31. Diagrama de ensamble de tazón centrífugo – tapa plateada – popote con tapa centrífuga.

Fuente: Elaboración propia.

$$S = 4\text{MPa.}$$

K = Factor Geométrico.

$\mu = 0.04$ para material Terlax 2802 con lubricante.

$$d = 0.4335''.$$

$$D = 0.4339''$$

$$l = 0.280''$$

W = Fuerza requerida para ensamble (¿?)

Sustituyendo:

$$K = \frac{1 + \left(\frac{0.4335}{0.4339}\right)^2}{1 - \left(\frac{0.4335}{0.4339}\right)^2}$$

$$K = 1051.631$$

Por lo tanto:

$$W = \frac{(4\text{MPa})(0.4335)(0.280)(3.1416)(0.04)}{1053.631}$$

$$W = 57.814\text{ N}$$

Una fuerza de 57.814 N ejercida mediante un actuador neumáticos es requerida para efectuar el ensamble con ajuste a presión de los componentes plásticos del tazón centrífugo.

5.2 Fuerza requerida de actuador neumático para apertura y cerradura de mandril tipo collet (fuerza de sujeción).

Partiendo del supuesto de equilibrio estático son establecidas la siguiente afirmación para determinar la fuerza del actuador neumático para la sujeción mediante el mandril tipo collet:

- La fuerza del actuador neumático traducida en fuerza de sujeción del Mandril tipo collet debe ser al menos igual a la fuerza requerida para realizar el ensamble mediante ajuste a presión.

El espacio definido previamente en las especificaciones de diseño limita la cantidad de elementos requeridos para construir el mecanismo de mandril tipo collet. El caso de estudio requiere un conjunto de elementos con desplazamiento lineal capaces de realizar la apertura y cerrado del diámetro interno del mandril tipo collet.

Los componentes del mecanismo de sujeción por collet son mostrados y descritos en la figura 32.

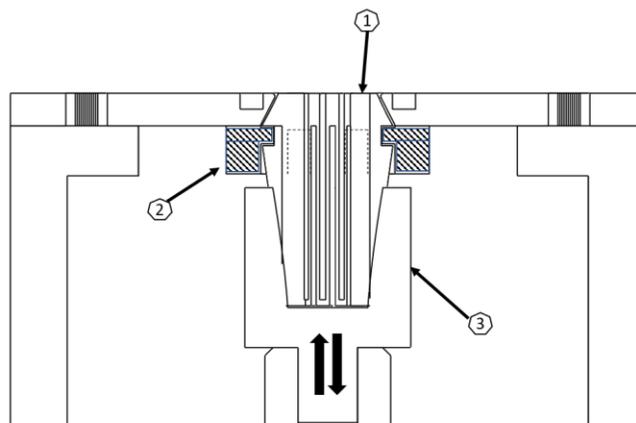


Figura 32. Ensamble sistema de sujeción con mandril tipo collet. (1) Collet, (2) Anillos de sujeción de collet, (3) Eje de empuje y cierre cónico

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

El funcionamiento del mecanismo consiste en 3 componentes, el mandril tipo collet, suspendido por los anillos de sujeción y un eje de empuje y cierre, el cual debido a su corte cónico de acuerdo con los ángulos de corte del collet, al hacer contacto al subir o bajar genera la compresión y expansión del diámetro interno del collet.

Mediante el estudio estático en conjunto de la teoría de fricción es posible realizar el cálculo de la fuerza empuje (P) traducida en fuerza de sujeción del mandril tipo collet (N)

Partiendo del equilibrio estático para el ensamble de los componentes del tazón centrífugo es establecida la siguiente igualdad:

$$W = 57.814 N = N$$

Analizando el diagrama de cuerpo libre del mecanismo de sujeción con mandril tipo collet mostrado en la figura 33.

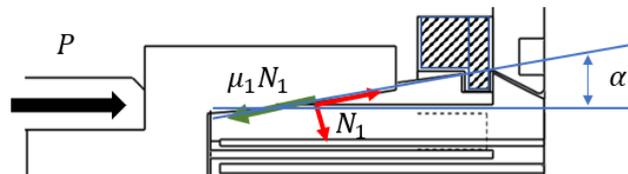


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre de mecanismo de sujeción mediante mandril tipo collet.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Asumiendo un collet conformado por 8 rendijas:

$$N_1 = 8 * N$$

$$N_1 = 8 * (57.814)$$

$$N_1 = 462.572 N$$

En base a la figura 27, resolviendo fuerzas de manera horizontal:

$$P = \mu_1 N_1 \cos(\alpha) + N_1 \sin(\alpha) \quad (19) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

Resolviendo fuerzas de manera vertical:

$$0 = N_1 \cos(\alpha) + \mu_2 N_1 \sin(\alpha) \quad (20) \quad (\text{Andersenn Hill., 2005})$$

Donde:

α = Angulo de Collet = 5.63 °.

μ_1 = Coeficiente de fricción de superficie de unión entre eje de empuje y cierre cónico con collet, para acero inoxidable 316 = 0.19.

Sustituyendo en ecuación de P:

$$P = (0.19)(462.572 \text{ N}) \cos(5.63^\circ) + (462.572 \text{ N}) \sin(5.63^\circ)$$

$$P = 87.46 \text{ N} + 45.38 \text{ N}$$

$$P = 130.85 \text{ N}$$

Por lo tanto, para una fuerza de ensamble con ajuste a presión de los componentes de tazón centrífugo es necesario un mecanismo con fuerza lineal axial hacia el mandril tipo collet de al menos 130.85

5.3 Cálculo de Presiones de entrada de Cilindros en base a dimensiones de sistema.

Ambas fuerzas **W** y **P** serán fuerzas ejercidas por actuadores neumáticos (cilindros) los cuales trabajan con determinada presión de aire comprimido. Esta presión requerida es calculada para cada elemento mediante:

$$F = pA \quad (21) \quad (\text{Engineering ToolBox, 2008})$$

Donde:

F = Fuerza ejercida.

p = Presion de aire comprimido en Pa.

A = Area de cavidad de embolo.

d = Diametro del embolo.

Los diámetros de las cavidades de los émbolos de cada cilindro para cumplir con los requerimientos de dimensiones destinadas al mecanismo son :

- Cilindro de jalado de componentes para ensamble con ajuste a presión :

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$A = 0.0001767m^2$$

- Cilindro de mecanismo de sujeción mediante collet :

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$A = 0.000804 m^2$$

Ambas presiones respectivamente son:

- Cilindro de jalado de componentes para ensamble con ajuste a presión:

$$W = p_1 A \quad (22) \quad (\text{Engineering ToolBox, 2008})$$

$$57.814 \text{ N} = p_1 (0.0001767m^2)$$

$$p_1 = \frac{57.814 \text{ N}}{(0.0001767m^2)}$$

$$p_1 = 327.187 \text{ KPa} = 47.45 \text{ psi}$$

- Cilindro de jalado de componentes para ensamble con ajuste a presión:

$$P = p_2 A \quad (23) \quad (\text{Elaboración propia, 2020})$$

$$130.85 \text{ N} = p_2 (0.000804m^2)$$

$$p_2 = \frac{130.85 \text{ N}}{(0.000804m^2)}$$

$$p_2 = 162.748 \text{ KPa} = 23.604 \text{ psi.}$$

Una vez planteados los valores de presiones y fuerzas requeridos para realizar el ensamble y sujeción de los componentes plásticos fue realizado el diseño del sistema de sujeción en base a las especificaciones de diseño.

5.4 Simulación deformación de Popote de ensamble tazón centrífugo

Posterior a realizar los cálculos de fuerzas de sujeción y jalón es necesario realizar una simulación del comportamiento del elemento plástico sometido a estas reacciones, es decir el popote de ensamble de tazón centrífugo.

El objetivo de la simulación es determinar si las fuerzas ejercidas por el sistema de sujeción mediante collet ocasionan un esfuerzo en la superficie de acción capaz de deformar el cuerpo sin superar su límite elástico.

Con una magnitud de esfuerzo mayor a la de la resistencia de fluencia el cuerpo del elemento popote del tazón centrífugo el material sufrirá una deformación permanente lo cual representa un riesgo tanto para la integridad del tazón centrífugo, así como para su funcionamiento en campo y paciente objetivo. El área crítica sometida a deformación durante el proceso de ensamble dentro del sistema de sujeción es ilustrada en la figura 34

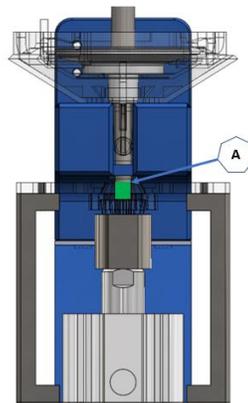


Figura 34. (A) Área de elemento a analizar mediante simulación de esfuerzo deformación.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Un análisis de deformación esfuerzo fue ejecutado sobre el elemento y superficie de interés mediante el uso del software SolidWorks 2018 con el asistente de simulación mecánica.

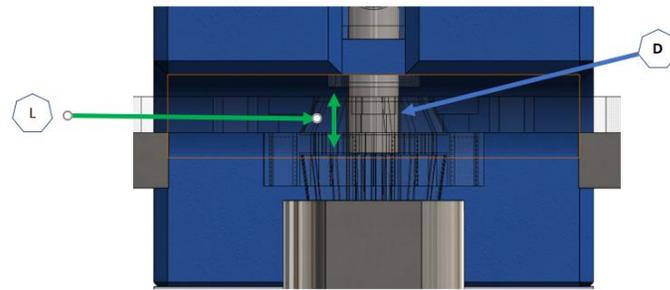


Figura 35. Superficie de popote sometida a esfuerzos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Las características de la superficie a analizar mostradas en la figura 35, cuentan con las siguientes características:

Diámetro de superficie: 0.236 in

Módulo de elasticidad: Kg/cm²

Longitud de superficie: 0.245 in

Resistencia a la tracción
(Fluencia/Rotura): Kg/cm²

Material: Terlux 2802

Fuerzas de reacción: 57.814 N

Los resultados de la simulación son mostrados en la figura 36:

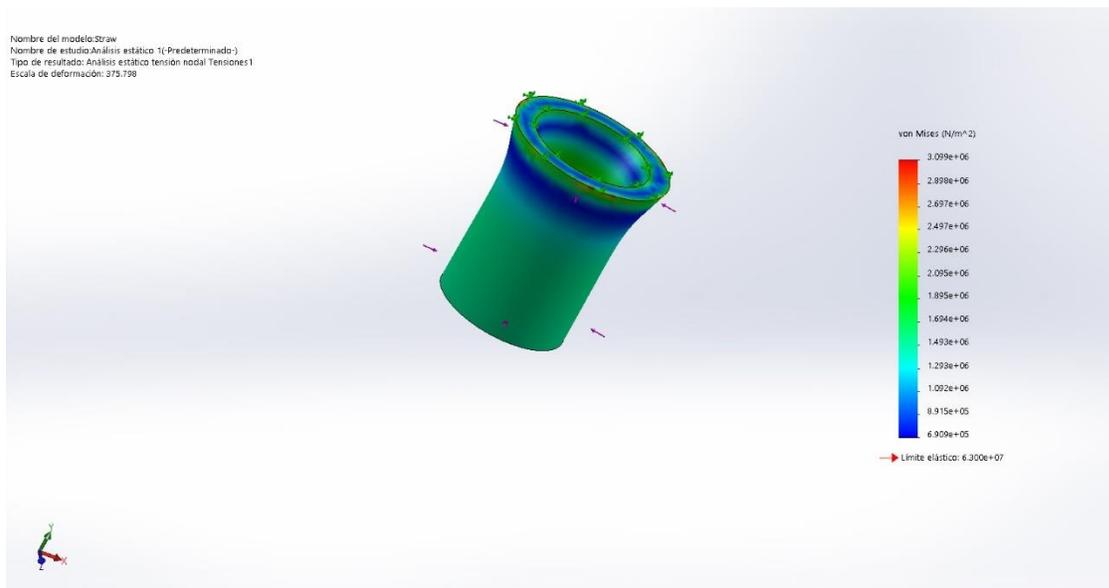


Figura 36. Análisis de deformación-esfuerzo de elemento popote sometido a sujeción mediante collet.

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

Los esfuerzos máximos obtenidos en la simulación tienen un valor muy por debajo del límite elástico ($6.3000e+07 \text{ N/mm}^2$), la superficie del popote del tazón centrífugo sometido a la fuerza de sujeción del mandril tipo collet será deformada y volverá a retomar su forma original posterior a retirar las reacciones del mecanismo.

5.5 Diseño final de sistema de sujeción mediante mandril tipo collet

El sistema propuesto consta de dos partes:

- Mecanismo Electroneumático de jalón para ensamble con ajuste a presión: Conformado por un cilindro neumático de 32 mm de diámetro de embolo, bases de acero inoxidable para fijación del sistema de sujeción mediante collet. Consiste en un actuador neumático encargado de mover sobre el eje Y hacia arriba y abajo para realizar la unión de los elementos plásticos, los elementos mencionados anteriormente son ilustrados en la figura 37.

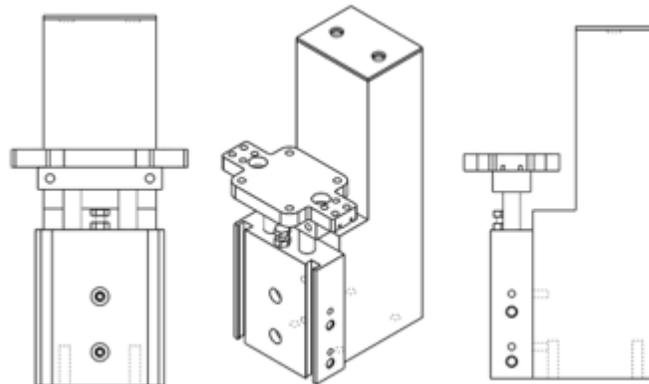


Figura 37. Mecanismo electroneumático de jalón para ensamble con ajuste a presión.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

- Mecanismo Electroneumático de sujeción mediante mandril tipo collet:

Mediante el empuje de un eje cónico con ángulo hacia un mandril tipo collet ER16 de ¼ de pulgada suspendido por medio de dos anillos de acero inoxidable unidos al sistema de jalón. La acción de empuje es ejercida mediante un pistón neumático de 16 mm de diámetro de embolo. Los elementos descritos anteriormente son ilustrados en tres vistas distintas en la figura 38.

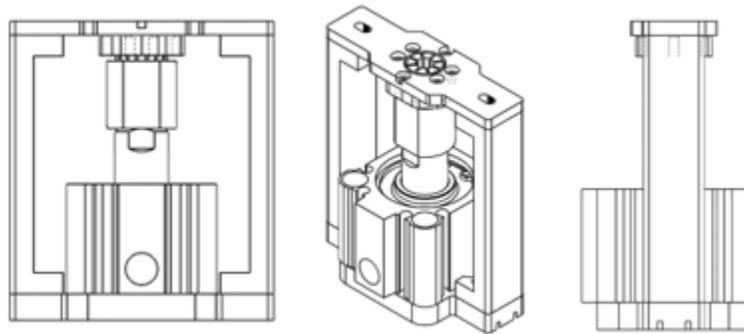


Figura 38. Mecanismo electroneumático de sujeción mediante mandril tipo collet.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

El conjunto de las dos partes mencionadas da paso al sistema de jalón y sujeción para el ensamble de tazón centrífugo de acuerdo con la lista de referencia de especificaciones, el sistema de jalón y sujeción y sus dimensiones son mostrados en la figura 39.

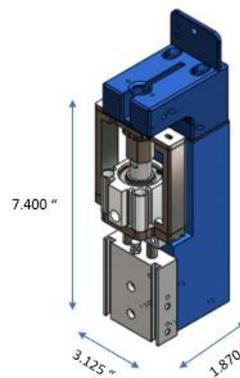


Figura 39. Sistema de jalón y sujeción para componentes de tazón centrífugo. Dimensiones de acuerdo con lista de especificaciones.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

5.6 Resultados de Prueba de hipótesis para diferencia de medias (tipo t) Primer hipótesis.

Tabla 6. Datos recolectados de experimento (Elaboración propia, 2020).

Sistema Actual				Mecanismo mandril tipo collet			
Muestra	Medicion 1	Medicion 2	Visual	Muestra	Medicion 1	Medicion 2	Visual
1	0.132	0.0665	Aceptable	1	0.13	0.065	Aceptable
2	0.1295	0.0645	Aceptable	2	0.1295	0.0655	Aceptable
3	0.128	0.068	Aceptable	3	0.1315	0.067	Aceptable
4	0.131	0.0665	Aceptable	4	0.13	0.0665	Aceptable
5	0.1305	0.065	Aceptable	5	0.13	0.0635	Aceptable
6	0.13	0.067	Aceptable	6	0.13	0.065	Aceptable
7	0.1325	0.067	Aceptable	7	0.1295	0.067	Aceptable
8	0.127	0.0695	Aceptable	8	0.1315	0.066	Aceptable
9	0.1295	0.0665	Aceptable	9	0.1305	0.0645	Aceptable
10	0.1315	0.0675	Aceptable	10	0.127	0.0635	Aceptable
11	0.1305	0.0645	Aceptable	11	0.1305	0.065	Aceptable
12	0.1295	0.066	Aceptable	12	0.128	0.0665	Aceptable
13	0.1275	0.0655	Aceptable	13	0.132	0.065	Aceptable
14	0.13	0.066	Aceptable	14	0.1325	0.066	Aceptable
15	0.1315	0.0665	Aceptable	15	0.1305	0.064	Aceptable
16	0.132	0.0655	Aceptable	16	0.131	0.0655	Aceptable
17	0.1275	0.0655	Aceptable	17	0.1335	0.0675	Aceptable
18	0.128	0.065	Aceptable	18	0.1295	0.065	Aceptable
19	0.133	0.066	Aceptable	19	0.128	0.066	Aceptable
20	0.1295	0.067	Aceptable	20	0.13	0.0645	Aceptable
21	0.1295	0.065	Aceptable	21	0.13	0.069	Aceptable
22	0.1285	0.0665	Aceptable	22	0.1295	0.064	Aceptable
23	0.1335	0.068	Aceptable	23	0.1305	0.0655	Aceptable
24	0.1315	0.0665	Aceptable	24	0.1315	0.0655	Aceptable
25	0.13	0.0655	Aceptable	25	0.131	0.0665	Aceptable
26	0.1305	0.0655	Aceptable	26	0.13	0.066	Aceptable
27	0.1305	0.061	Aceptable	27	0.131	0.0635	Aceptable
28	0.1305	0.0665	Aceptable	28	0.1315	0.1315	Aceptable
29	0.1305	0.067	Aceptable	29	0.1305	0.0665	Aceptable
30	0.13	0.0655	Aceptable	30	0.128	0.0665	Aceptable
31	0.1315	0.0685	Aceptable	31	0.134	0.069	Aceptable
32	0.1305	0.066	Aceptable	32	0.1295	0.066	Aceptable
33	0.131	0.0665	Aceptable	33	0.13	0.0655	Aceptable
34	0.1305	0.067	Aceptable	34	0.13	0.0655	Aceptable
35	0.13	0.0655	Aceptable	35	0.13	0.065	Aceptable
36	0.1305	0.0675	Aceptable	36	0.1305	0.0665	Aceptable
37	0.133	0.0665	Aceptable	37	0.1295	0.0655	Aceptable
38	0.134	0.0655	Aceptable	38	0.128	0.0645	Aceptable
39	0.1315	0.065	Aceptable	39	0.1325	0.0675	Aceptable
40	0.1255	0.067	Aceptable	40	0.1295	0.066	Aceptable
41	0.131	0.0705	Aceptable	41	0.1305	0.0655	Aceptable
42	0.1295	0.0645	Aceptable	42	0.131	0.0675	Aceptable
43	0.1315	0.0655	Aceptable	43	0.1325	0.0675	Aceptable
44	0.1315	0.0685	Aceptable	44	0.132	0.0655	Aceptable
45	0.1315	0.0645	Aceptable	45	0.1305	0.0665	Aceptable
46	0.1305	0.065	Aceptable	46	0.13	0.0655	Aceptable
47	0.1295	0.0645	Aceptable	47	0.13	0.0655	Aceptable
48	0.128	0.065	Aceptable	48	0.1335	0.0675	Aceptable
49	0.131	0.065	Aceptable	49	0.129	0.065	Aceptable
50	0.129	0.065	Aceptable	50	0.132	0.0675	Aceptable

La tabla 6 muestra los datos recolectados de las mediciones 1 y 2 para el experimento de la primera prueba de Hipótesis de medias, las primeras 4 columnas contienen los datos tomados del sistema actual, las 4 últimas columnas registran los datos del sistema propuesto.

Mediante la ejecución de una prueba de Hipótesis para diferencia de medias fue evaluado si el diseño de mandril tipo collet entrega la misma salida de mediciones de altura 1 y 2 respecto al sistema actual.

Los resultados de la prueba de hipótesis ejecutada a las 50 muestras de mediciones de altura 1 y 2 del ensamble del sistema actual contra el propuesto mostrados en la figura 40 ,no establecieron una diferencia significativa entre los resultados de las medias de mediciones de altura 1 y 2 del sistema actual contra el propuesto con un nivel de significancia del 0.05.

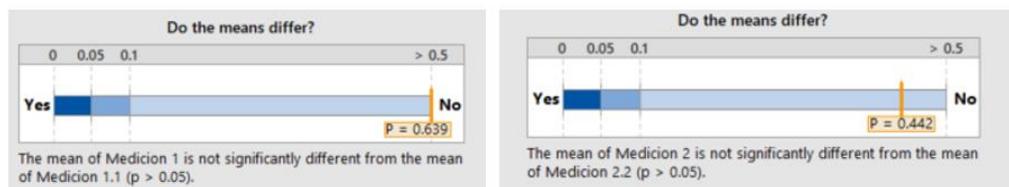


Figura 40. Diferencia de medias de medición de altura 1 y 2 de Sistema de sujeción mediante mandril tipo collet contra sistema actual

Fuente: (Elaboración propia con minitab , 2020).

Con **P-values** de 0.639 para medición 1 y 0.442 ambos mayores a 0.05 se rechaza la Hipótesis alternativa.

5.7 Analisis de capacidad Primer hipótesis

Con ayuda de un análisis de capacidad de proceso se analizaron los comportamientos del diseño propuesto con el fin de definir si el sistema propuesto es capaz de producir ensambles de acuerdo con las especificaciones de medición. Los índices de capacidad de procesos obtenidos a partir de los datos recolectados de medición de altura 1 y medición de altura 2 tanto del sistema propuesto contra el actual respecto a los límites de especificación son ilustrados en la figura 41 y 42.

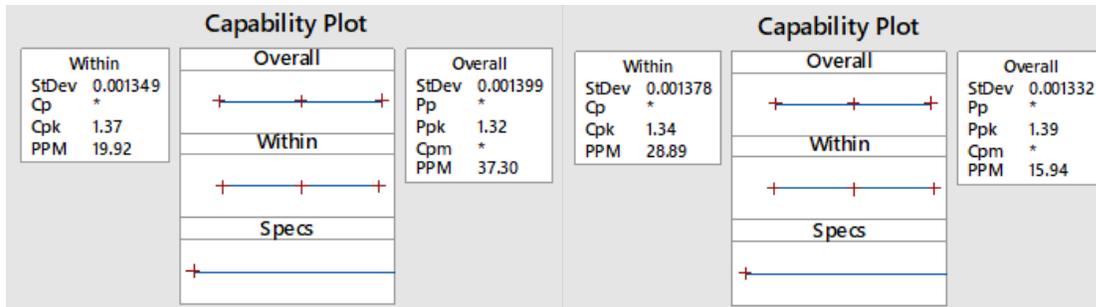


Figura 41. Capacidades e Índices de capacidades de proceso de medición de altura 1 para diseño de mandril tipo collet (izquierda) contra sistema actual (derecha).

Fuente: (Elaboración propia con minitab, 2020).

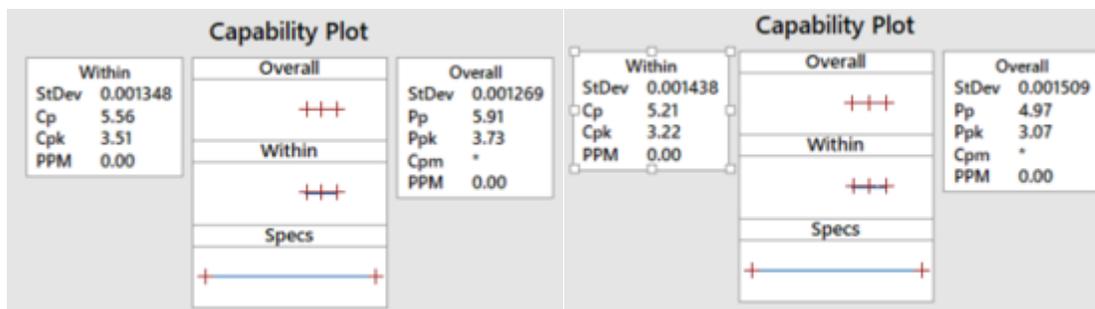


Figura 42. Capacidades e Índices de capacidades de proceso de medición de altura 2 para diseño de mandril tipo collet (derecha) contra sistema actual (izquierda)

Fuente:(Elaboración propia con minitab, 2020).

Los resultados del análisis de capacidad de la entrega de mediciones de altura 1 y 2 de ensamble basados en las 50 muestras previamente calculadas de ambos procesos muestran un pequeño aumento en la capacidad entregada por el sistema propuesto:

Cpk = 1.37 en medición 1 y 3.51 en medición 2 para diseño con mandril tipo collet.

Cpk = 1.34 en medición 1 y 3.22 en medición 2 para sistema actual con pinza.

5.8 Resultados de Prueba de hipótesis para diferencia de medias (tipo t) estudio Segunda hipótesis (Comportamiento posterior a 10000 ciclos)

Tabla 7. Datos recolectados de experimento comportamiento de mecanismo posterior a 10000 ciclos de ensamble.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Sistema Actual				Mecanismo mandril tipo collet			
Muestra	Medicion 1	Medicion 2	Visual	Muestra	Medicion 1	Medicion 2	Visual
1	0.1305	0.0665	Aceptable	1	0.1285	0.0565	Aceptable
2	0.1305	0.0645	Aceptable	2	0.128	0.068	Aceptable
3	0.1325	0.068	Aceptable	3	0.1325	0.0665	Aceptable
4	0.1315	0.0665	Aceptable	4	0.135	0.0695	Aceptable
5	0.1325	0.065	Aceptable	5	0.133	0.0655	Aceptable
6	0.1315	0.067	Aceptable	6	0.1315	0.0675	Aceptable
7	0.1305	0.067	Aceptable	7	0.1285	0.068	Aceptable
8	0.1335	0.0695	Aceptable	8	0.128	0.065	Aceptable
9	0.1335	0.0665	Aceptable	9	0.128	0.0675	Aceptable
10	0.13	0.0675	Aceptable	10	0.1295	0.0645	Aceptable
11	0.13	0.0645	Aceptable	11	0.1315	0.0675	Aceptable
12	0.129	0.066	Aceptable	12	0.127	0.067	Aceptable
13	0.1325	0.0655	Aceptable	13	0.1305	0.068	Aceptable
14	0.129	0.066	Aceptable	14	0.1335	0.0675	Aceptable
15	0.131	0.0665	Aceptable	15	0.1325	0.07	Aceptable
16	0.1305	0.0655	Aceptable	16	0.13	0.0685	Aceptable
17	0.132	0.0655	Aceptable	17	0.1325	0.065	Aceptable
18	0.1305	0.065	Aceptable	18	0.133	0.0665	Aceptable
19	0.131	0.066	Aceptable	19	0.1315	0.0675	Aceptable
20	0.132	0.067	Aceptable	20	0.1305	0.0655	Aceptable
21	0.13	0.065	Aceptable	21	0.129	0.0675	Aceptable
22	0.128	0.0665	Aceptable	22	0.1305	0.0645	Aceptable
23	0.1335	0.068	Aceptable	23	0.134	0.0665	Aceptable
24	0.131	0.0665	Aceptable	24	0.131	0.0685	Aceptable
25	0.132	0.0655	Aceptable	25	0.1325	0.07	Aceptable
26	0.1315	0.0655	Aceptable	26	0.1305	0.0675	Aceptable
27	0.13	0.061	Aceptable	27	0.131	0.0645	Aceptable
28	0.132	0.0665	Aceptable	28	0.1275	0.066	Aceptable
29	0.1305	0.067	Aceptable	29	0.133	0.0685	Aceptable
30	0.13	0.0655	Aceptable	30	0.1295	0.065	Aceptable
31	0.1325	0.0685	Aceptable	31	0.1325	0.068	Aceptable
32	0.1315	0.066	Aceptable	32	0.1305	0.066	Aceptable
33	0.1305	0.0665	Aceptable	33	0.1305	0.067	Aceptable
34	0.1295	0.067	Aceptable	34	0.1325	0.0675	Aceptable
35	0.1315	0.0655	Aceptable	35	0.132	0.0675	Aceptable
36	0.129	0.0675	Aceptable	36	0.1305	0.0675	Aceptable
37	0.1305	0.067	Aceptable	37	0.131	0.0665	Aceptable
38	0.1325	0.0675	Aceptable	38	0.128	0.0655	Aceptable
39	0.132	0.0675	Aceptable	39	0.132	0.0675	Aceptable
40	0.1305	0.0675	Aceptable	40	0.1295	0.066	Aceptable
41	0.131	0.0675	Aceptable	41	0.1275	0.0645	Aceptable
42	0.131	0.066	Aceptable	42	0.131	0.0675	Aceptable
43	0.128	0.067	Aceptable	43	0.127	0.064	Aceptable
44	0.1305	0.0665	Aceptable	44	0.128	0.0645	Aceptable
45	0.128	0.0665	Aceptable	45	0.125	0.065	Aceptable
46	0.1315	0.0665	Aceptable	46	0.1275	0.0665	Aceptable
47	0.1315	0.065	Aceptable	47	0.1305	0.0655	Aceptable
48	0.1315	0.0665	Aceptable	48	0.134	0.066	Aceptable
49	0.1305	0.068	Aceptable	49	0.1325	0.0635	Aceptable
50	0.133	0.065	Aceptable	50	0.1295	0.0645	Aceptable

La tabla 7 muestra los datos recolectados de las mediciones 1 y 2 para el experimento de la segunda prueba de Hipótesis de medias, las primeras 4 columnas contienen los datos tomados del sistema actual, las 4 últimas columnas registran los datos del sistema propuesto.

Los resultados de la prueba de hipótesis mostrados en la figura 43, no establecieron una diferencia significativa entre los resultados de las medias de mediciones de altura 1 y 2 del

sistema actual contra el propuesto con un nivel de significancia del 0.05 tras ejecutar 10000 ciclos. de ensamble contra el propuesto con un nivel de significancia del 0.05 tras ejecutar 10000 ciclos de ensamble.

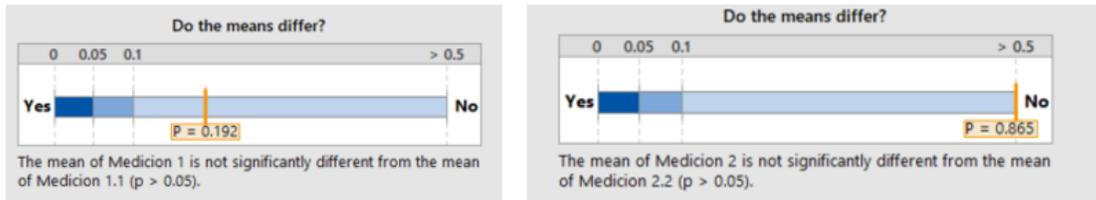


Figura 43. Diferencia de medias de medición de altura 1 y 2 de Sistema de sujeción mediante mandril tipo collet tras 10000 ciclos de trabajo contra sistema actual

Fuente: (Elaboración propia con minitab , 2020).

5.9 Análisis de capacidad Segunda hipótesis

Adicional a la prueba de Hipótesis fue realizado un análisis de capacidad para el sistema de sujeción mediante mandril tipo collet tras haber ejecutado 10000 con el objetivo de visualizar existencia de algún cambio significativo en el proceso. Los resultados de capacidad del proceso son ilustrados en la figura 44.

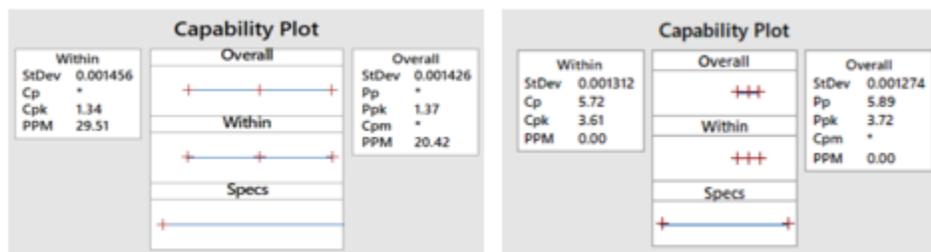


Figura 44. Capacidades e Índices de capacidades de proceso para diseño de mandril tipo collet tras ejecución de 10000 ciclos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Los resultados del análisis de capacidad de la entrega de mediciones de altura 1 y 2 de ensamble tras la ejecución de 10000 ciclos basados en las 50 muestras previamente calculadas de ambos procesos no muestran un cambio significativo o disminución en la capacidad del sistema propuesto:

Cpk = 1.34 en medición de altura 1 y 3.61 en medición de altura 2 para sistema propuesto.

5.10 Resultados de tiempo muerto por mantenimientos correctivos tras 10000 ciclos con sistema propuesto.

Durante la ejecución de los 10000 ciclos mediante el ciclado de la maquina previamente programada se realizaron ciclos sin interrupciones. No fueron registrados paros en el equipo durante el transcurso de este periodo equivalente a 20 días hábiles. La grafica de la figura 45 muestra el tiempo muerto generado por mantenimiento correctivo requerido al sistema de sujeción mediante mandril tipo collet.

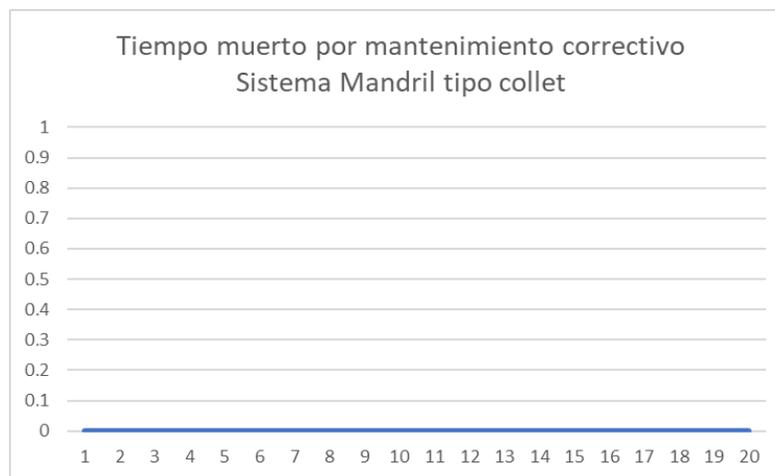


Figura 45. Registro de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de sistema de sujeción mediante mandril tipo collet
Fuente: (Elaboración propia, 2020)

5.11 Discusión de resultados

Los cálculos de las fuerzas de jalón de 57.814 N para el ensamble mediante ajuste a presión equilibrado con la fuerza de sujeción de 130.85 N ambas traducidas en presiones de 47.45 psi y 23.60 psi son suficientes para realizar el ensamble de los componentes del tazón centrífugo sin deformar el elemento popote dentro de las especificaciones de medición de altura.

Las pruebas de hipótesis tipo t con una confianza del 95 % no rechazan las hipótesis nulas. El estudio concluye el sistema de sujeción mediante mandril tipo collet con una salida sin diferencia estadísticamente significativa como la solución al problema de tiempo muerto generado por mantenimientos correctivos al no generar tiempo muerto durante la ejecución de 10000 ciclos.

6. Conclusión

El sistema de sujeción mediante Mandril tipo collet ofrece salida de mediciones de altura 1 con un cpk de 1.37 y salida de medición de altura 2 con un cpk de 3.51 manteniendo y mejorando las capacidades del proceso actual.

Tras la ejecución de 10000 el sistema propuesto ofrece una salida de mediciones de altura 1 con un cpk de 1.34 y salida de medición de altura 2 con un cpk de 3.61 manteniendo las capacidades del proceso sin registrar tiempo muerto por mantenimientos correctivos.

El diseño propuesto es una solución al problema planteado.

Para investigaciones futuras son propuestas mejoras en el sistema de medición, específicamente la obtención de un instrumento de medición de altura con mayor resolución al actual , con el objetivo de obtener mediciones que ofrezcan una mejor distribución de los datos con mayor precisión y mejorar los análisis de capacidades.

Referencias

- Alfred, Z. (2006). *Wear patterns and Laws of wear*. Louisiana: Journal of Theoretical and applied Mechanics.
- Andersenn Hill., M. (2005). *Collet and Friction*. New York: Meas SciTechnol.
- Benito, A. C. (2000). *Sistemas de Sujecion y Soporte Mecanico*. Monterrey, N. L.: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Boyes William, B. R. (1989). *Handbook of Jig and Fixture Design*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers.
- Carr Lane Manufacturing Co. (1992). *Jig and Fixture Handbook*. Denver CO, U.S.A: Carr Lane Manufacturing Co.
- Clive Maier, Econology LTD. (2004). *Design Guide for Plastics*. Phoenix, AZ: Tangram Technology LTD.
- Donaldson Cyril, L. C. (1973). *Tool Design*. California: McGraw-Hil Companies, T.H.E.
- Engineering ToolBox. (2008). *Pneumatic Cylinder Force*. Retrieved from Engineering ToolBox: https://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-cylinder-force-d_1273.html
- Gorgeff, H. E. (2004). *Jig and Fixture Design*. New York City: Cengage LEarnein.
- Hardinge Corporation. (2010). *Tools and Tool Holders*. California: Hardinge Corporation.
- Henriksen, E. K. (2010). *Jig and Fixture Design Manual*. Dublin., OH: Industrial Press, Incorporated.
- Jackson Medel., T. R. (1982). *Autotransfusion and blood conservation*. Chicago Illinois.: Year Book Medical Publisher Inc.
- Kalpakjian Serope, S. S. (2001). *Manufactura Ingenieria y Tecnologia*. New Jersey, U.S.A.: Prentice-Hall Inc.
- Lantrip Jeff, D. A. (2003). *Fundamentals of Tool Design*. Chicago.: Society of Manufacturing Engineers.
- Maquiver MX. (2015, Noviembre 9). *Tipos de mandriles para torno*. Retrieved from Maquiver MX: <https://maquiver-mx.tumblr.com/post/132903758340/tipos-de-mandriles-para-torno>
- Medtronic. (2006). *Autolog. Autotransfusion System* . Minneapolis U.S.A.: Medtronic.
- Mevcha., V. B. (2017). *Design and Analysis of Single Angle Expanding Collets*. . Gujarat, India: STM Journals.
- Micro Machine Company. (2007, May). *Ball Turner*. Retrieved from Micro Machine Shop: http://www.micro-machine-shop.com/ball_turner.htm
- Montgomery, D. C. (2003). *Probabilidad y estadistica aplicadas a la ingenieria*. Arizona: Limusa Wiley.

- Omega a Spectris Company. (2015, Septiembre 24). *Introduccion a las Pinzas (Grippers)*. Retrieved from Omega: <https://mx.omega.com/prodinfo/pinzas-grippers.html>
- Oscar Aviles, P. S. (2005). *Dedos para "Grippers" Roboticos*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnologia de Pereira.
- Oviedo, P. (2010). *Guiar para calcular el desgaste abrasivo entre componentes no lubricados*. Queretaro, Mexico.: Ciencia Ingenieria y Desarrollo Tec Lerdo.
- Raul, V. S. (2012). *Diseno y construccion de un gripper experimental para instrumento quirurgico de corte adaptado al Robot Mitsubishi RV-M!* Mexico, D.F.: UPIITA-IPN.
- Stenabaugh Peter, H. G. (2005). Adjustable Collet Chuck. *The Home Shop Machinist*, 120.
- UCA. (2008). *Propiedades Mecanicas a Esfuerzo - Deformacion*. Arkansas: UCA.edu.sv.
- Victor, G. (2003). *Elementos terminales o actuadores finales*. Retrieved from Platea Mec.