



Rediseño de una maquina inyectora de PET para la repotenciación de su funcionamiento en la empresa Bolten Ltda. de la ciudad de barranquilla.

**Luis Felipe Celin López
Alberto Mario Ibáñez Lizcano**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

Rediseño de una maquina inyectora de PET para la repotenciación de su funcionamiento en la empresa Bolten Ltda. de la ciudad de barranquilla.

**Luis Felipe Celin López
Alberto Mario Ibáñez Lizcano**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):
Fabio Andrés Bermejo

Línea de Investigación:
Diseño y automatización industrial
Grupo de Investigación:
GI FOURIER

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

DEDICATORIA

Luis Celin

A Dios, ante todo, a mi familia y en especial a mi madre que siempre me quiso ver como un profesional, a mi hermana Zunilda Celin que ha reemplazado a mi madre, a mi hijo Luis Leonardo Celin que siempre me ha dado la fortaleza y el ánimo, a mi esposa Katherine de León que ha sido mi apoyo incondicional.

Alberto Ibáñez,

Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía espiritual en este largo camino, gracias a él superé los momentos difíciles y me levanté para culminar con éxito, Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre, pues sin ella no lo había logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo. A mis hermanos, que juntos a nuestros padres han sido apoyo y fuente de inspiración para este trabajo. Gracias mil gracias. Gracias al profesor Fabio Bermejo por estar siempre atento a mis dudas, por su gran disposición, por sus conocimientos, por su amor a los estudiantes y sobre todo por su amor al conocimiento. Gracias a la Universidad Antonio Nariño, casa de estudio que me permitió crecer académicamente y tener una educación de calidad. A todos mis amigos, a los que se han convertido en familia. Quienes pasaron días y noches estudiando en toda la carrera, ahora somos colegas y juntos logramos este gran triunfo.

Agradecimientos Luis F. Celin

A mi Dios todopoderoso, a mi familia, a la Universidad Antonio Nariño que me dio el aporte intelectual para realizar este proyecto; a mi coordinador de proyecto Fabio Bermejo por su conocimiento y colaboración; a mi esposa Katherine de León por su apoyo incondicional. A mi hijo Luis Leonardo Celin por ser el motor de mi vida. A todo el equipo de trabajo de Bolten Ltda. en especial al señor German Gutiérrez gerente de Bolten Ltda. por su aval y confianza para desarrollar este proyecto de grado.

Agradecimientos Alberto Ibáñez

A Dios, por darme la oportunidad de culminar una meta más en mi vida, por siempre guiarme por los mejores caminos y darme la sabiduría para enfrentarme a todos los retos.

A mi familia, especialmente a mi mamá, por su amor, confianza y por estar conmigo Siempre. A mi compañero Luis Celin por su paciencia, amor, compañía y ánimo durante este proceso de formación y camino juntos.

A mi profesor Fabio bermejo, por creer siempre en mí y en este proyecto, gracias por orientarme en todo momento y haberme brindado la oportunidad de realizar este Proyecto Fin de Carrera, teniendo alto interés académico y profesional, y por haber confiado en mis criterios y propuestas. Este trabajo me ha permitido introducirme en un entorno laboral apasionante y me ha ayudado a tomar la dirección en mi “vuelo” profesional. También mil gracias a todo personal docente de UAN.

Resumen

En el presente proyecto se realizará EL rediseño del sistema de la unidad de inyección de la maquina inyectora de plástico FT 300 para la empresa BOLTEN LTDA. la cual se encuentra trabajando a un 33% de eficiencia por capacidad volumétrica de máquina. En el proyecto se realizará sobre el proceso de inyección de plástico y las maquinas que realizan este proceso, se investiga el funcionamiento y sus características más importantes para con ello realizar el diseño y posteriormente llevar a cabo la repotenciación de este. Para desarrollar el proyecto fue necesario aplicar conocimientos de sistemas hidráulicos, automatización, instrumentación y programación de controladores lógicos; para interpretar los diagramas: eléctricos e hidráulicos para facilitar los mantenimientos preventivos y correctivos. Se realizó un manual del usuario y se capacitó al personal de Bolten Ltda. sobre la correcta operación de la máquina.

Palabras clave: Materia prima, PET, Inyección

Abstract

In this project, the redesign of the system of the injection unit of the FT 300 plastic injection machine will be carried out for the company BOLTEN LTDA. which is working at 33% efficiency due to the volumetric capacity of the machine. In the project, it will be carried out on the plastic injection process and the machines that carry out this process, the operation and its most important characteristics are investigated in order to carry out the design and later carry out the repowering of this. To develop the project, it was necessary to apply knowledge of hydraulic systems, automation, instrumentation and programming of logic controllers; to interpret the diagrams: electrical and hydraulic to facilitate preventive and corrective maintenance. A user manual was produced, and Bolten Ltda. Personnel were trained on the correct operation of the machine.

Keywords: Materia prima, PET, Inyección

Contenido

	Pág.
1. Capítulo 1 – Planteamiento, justificación y objetivos.....	5
1.1 Planteamiento del problema.....	5
1.2 Justificación.....	6
1.3 Alcance del proyecto.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivo específico.....	8
2. Capítulo 2 – Marco referencial.....	9
2.1 PET – Tereftalato de polietileno.....	9
2.1.1 Ventajas del PET.....	9
2.1.2 Desventajas del PET.....	9
2.1.3 Costos de materia prima.....	10
2.1.4 Temperatura.....	10
2.1.5 Disponibilidad.....	10
2.1.6 Reciclaje.....	10
2.2 Moldeo por inyección.....	10
2.2.1 Tolla.....	11
2.2.2 Plastificación por calentamiento.....	11
2.2.3 Moldeo por piezas.....	11
2.2.4 Husillo y sus características.....	12
2.2.5 Unidad de inyección.....	14
2.3 Estado del arte.....	15
3. Capítulo 3 – Metodología.....	18
3.1 Fase 1: Caracterización de los componentes de la maquina.....	18
3.2 Fase 2: Determinación de parámetros operativos.....	20
3.3 Fase 3: Selección de componentes para el rediseño.....	22
3.4 Fase 4: Experimentación mediante pruebas con el equipo rediseñado.....	23
3.4.1 Cálculo de resistencia de abrazaderas.....	23
3.4.2 Montaje de unidad de inyección (Nuevo modelo).....	24
3.4.3 Pruebas experimentales.....	24
3.4.4 Verificación de presión de máquina.....	24
3.4.5 Verificación de temperatura de tobera.....	25
3.4.6 Ajuste y prueba final.....	25
4. Capítulo – Resultados y discusión.....	26

4.1	Análisis de las características y especificaciones técnicas del funcionamiento de la maquina inyectora FT300 para su repotenciación.....	26
4.1.1	Introducción y planos de la maquina	26
4.1.2	Componentes de la inyectora FT300.....	29
4.1.3	Controladores.....	31
4.1.4	Actuadores.....	37
4.1.5	Sensores.....	43
4.2	Determinación de los parámetros operativos y constructivos de la unidad de inyección para su repotenciación.....	46
4.2.1	Longitud del tornillo	46
4.2.2	Calculo volumétrico (gasto volumétrico) de la unidad de inyección	47
4.2.3	Cálculo de flujo contrapresión	48
4.2.4	Calculo flujo máximo (Q_{max}).....	50
4.2.5	Cálculo de presión máxima	50
4.3	Selección los componentes y elementos correctos como son sensores controladores y actuadores para su puesta en marcha	51
4.3.1	Rediseño de maquina en software.	51
4.3.2	Desmante de unidad a diseñar.....	53
4.3.3	Desmontaje de motor hidráulico, barril y tornillo	54
4.3.4	Desmontaje de bomba y mangueras hidráulicas	55
4.3.5	Reensamble de los dispositivos a remplazar.....	56
4.4	Análisis de los resultados experimentales en cada prueba y corroborar el funcionamiento de la máquina y cada uno de sus elementos, sensores, actuadores y controladores.....	60
4.4.1	Verificación de presión de máquina.....	60
4.4.2	Verificación de temperatura de tobera.....	62
4.4.3	Ajuste y prueba final.....	63
4.4.4	Sistema automático.....	67
4.4.5	Pruebas y resultados en modo automático.....	70
5.	Conclusiones y recomendaciones	79
5.1	Conclusiones.....	79
5.2	Recomendaciones	80
6.	Bibliografía.....	81

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1. Diagrama esquemático de la unidad de inyección.....	12
Figura 2-2. Características del tornillo de una inyectora	13
Figura 2-3. Unidad de inyección de una maquina inyectora	15
Figura 3-1. Diagrama de funcionamiento de proceso de la inyectora FT 300	18
Figura 4-1. Diagrama principal de maquina	26
Figura 4-2. Circuito hidráulico.....	27
Figura 4-3. Válvula hidráulica del sistema de tobera	27
Figura 4-4. Diagrama funcional de válvula 4/3.....	28
Figura 4-5. Inyectora FT 300	29
Figura 4-6. Controlador de temperatura de la inyectora FT300	32
Figura 4-7. Dimensiones del controlador	32
Figura 4-8. Tolva secadora de la inyectora FT 300.....	32
Figura 4-9. Diagrama de estructura del secador de tolva	33
Figura 4-10. Controlador o traductor de presión de la FT300	33
Figura 4-11. Verificación de volumen volumétrico	34
Figura 4-12. Ubicación de controlador lineal de la inyectora FT300.....	35
Figura 4-13. Interfax maquina hombre de la inyectora FT300.....	35
Figura 4-14. Control de mandos y PLC de La inyectora FT 300	36
Figura 4-15. Tablero Electrónico del PLC y control de mando.....	36
Figura 4-16. Motor Hidráulico de pistón.....	38
Figura 4-17. Plano hidráulico de la inyectora FT 300.....	38
Figura 4-18. Cilindro neumático y sus partes.....	39
Figura 4-19. Ubicación de cilindro hidráulico de tobera o barril.....	39
Figura 4-20. Actuador o potenciómetro eléctrico	40
Figura 4-21. Circuito de actuador o potenciómetro lineal.....	40
Figura 4-22. Motor hidráulico de pistón en simulación	41

Figura 4-23. Especificaciones técnicas	41
Figura 4-24. Características de rendimiento.....	41
Figura 4-25. Barril, y tornillo nuevo rediseño	42
Figura 4-26. Ubicación del barril o tobera de la FT 300.....	42
Figura 4-27. Sensor inductivo para medir RPM.....	43
Figura 4-28. Plano de sensor inductivo de RPM	44
Figura 4-29. Sensor inductivo para medir RPM.....	44
Figura 4-30. Actuador cilindro hidráulico de unidad de inyección	45
Figura 4-31. Diagrama del cilindro unidad de inyección	45
Figura 4-32. Circuito hidráulico de cilindro de barril o tobera.....	46
Figura 4-33. Unidad de inyección a rediseñar en software	51
Figura 4-34. Simulación de las partes de la unidad de inyección	52
Figura 4-35. Caja de rodamientos entre barril y motor hidráulico	52
Figura 4-36. Ubicación de resistencias	53
Figura 4-37. Termocuplas de la maquina FT300.....	53
Figura 4-38. Partes de la unidad de inyección	54
Figura 4-39. (A) Evidencia del desmontaje de unidad de inyección y (B) evidencia del desmontaje de desmontaje de motor hidráulico	54
Figura 4-40. Tapa trasera y unión de tornillo o husillo	54
Figura 4-41. Motor hidráulico y caja de rodamientos a desmontar	55
Figura 4-42. Desmontaje de bomba hidráulica y motor eléctrico	55
Figura 4-43. Desmontaje de las mangueras hidráulicas.....	56
Figura 4-44. Resistencia de abrazadera o de banda seleccionada	57
Figura 4-45. Termopar tipo K implementado en la inyectora	58
Figura 4-46. Válvula hidráulica.....	59
Figura 4-47. Verificación de presión del sistema hidráulico	60
Figura 4-48. Manómetro de presión del sistema hidráulico	61
Figura 4-49. Verificación de presión de inyección	61
Figura 4-50. Verificación de presión de carga	62
Figura 4-51. Verificación y prueba de temperatura.....	63
Figura 4-52. Pruebas volumétricas 1 a100mm.....	64
Figura 4-53. Evidencia de capacidad volumétrica a 100mm	64
Figura 4-54. Prueba Volumétrica 2 a 130mm.....	65
Figura 4-55. Evidencia de capacidad volumétrica a 130mm.....	65

Figura 4-56. Prueba Volumétrica 3 a 170mm	66
Figura 4-57. Evidencia de capacidad volumétrica a 170mm.....	66
Figura 4-58. Recorrido de pistón en carga en modo manual	67
Figura 4-59. Prueba 1 a 100mm.....	68
Figura 4-60. Prueba 3 a 130mm.....	68
Figura 4-61. Prueba 2 a 170mm.....	69

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1. Componentes de la inyectora FT300.....	19
Tabla 3-2. Característica de resistencia a utilizar en el rediseño.....	24
Tabla 3-3. Pruebas manuales	25
Tabla 4-1. Estado de válvula.....	28
Tabla 4-2. Estado de actuador	28
Tabla 4-3. Características de la Inyectora FT300.....	29
Tabla 4-4. Características y parte de la unidad de inyección de la maquina FT 300	30
Tabla 4-5. Ventajas y beneficios de un motor hidráulico radial con pistones	37
Tabla 4-6. Partes del cilindro de Barril (tobera)	45
Tabla 4-7. Características del tornillo y barril	47
Tabla 4-8. Características de las resistencias	56
Tabla 4-9. Característica del sensor actual	58
Tabla 4-10. Sensor inductivo.....	58
Tabla 4-11. Verificación de movimiento y presión	61
Tabla 4-12. Verificación de temperatura de tobera.....	62
Tabla 4-13. Comparativa de las temperatura antes y después de la repotenciación	63
Tabla 4-14. Resultado de posición de carga a 100mm.....	67
Tabla 4-15. Resultados de posición de carga a 130mm.....	68
Tabla 4-16. Resultado de posición de carga a 170mm.....	69
Tabla 4-17. Ciclo de maquina	70
Tabla 4-18. Extracción de resultados modo automáticos	71
Tabla 4-19. Resultado modo automático.....	72

Lista de ecuaciones

Ecuación 3-1. Diámetro del tornillo	20
Ecuación 3-2. Gasto volumétrico o flujo masico	21
Ecuación 3-3. Flujo contrapresión	21
Ecuación 3-4. Presión máxima	21

Introducción

A partir de finales del siglo IXX y principio de siglo XX se da el descubrimiento de los polímeros sintéticos (fuentes no renovables), los cuales poseen propiedades ventajosas cualidades especiales tales como alta relación peso/resistencia (bajo peso molecular), obtención de manera fácil y grandes posibilidades de manufactura, alto uso en su capacidad como aislante y muy importante mencionar su alta estabilidad química. Desde esa perspectiva, se expande el rango de aplicaciones y posibilidades de productos plásticos a todos los campos industriales y la vida diaria (Groover, 2007). Dichos materiales, (los materiales plásticos) pueden ser clasificados en plásticos comunes, plásticos de ingeniería y plásticos de especialidad, sin embargo, para dicho proyecto solo interesa los plásticos comunes dentro de los cuales se encuentra el PET (tereftalato de polietileno) (Smith, 2005).

Por otro lado, es importante resaltar que las piezas como el husillo el cual es una parte fundamental de las maquinas inyectoras son los principales focos de potenciación por lo general. Este dispositivo realiza un trabajo mediante un mecanismo que enrosca helicoidalmente un dispositivo de acero en el cual el diseño es de gran importancia para su rendimiento, calidad y funcionalidad en una maquina inyectora, así como para otros procesos tales como la homogeneización de polímeros, la plastificación, transformación de dichos materiales (Lerma, 2018). En segundo lugar, tenemos que el sistema hidráulico de las máquinas inyectoras tiene que presentar un desempeño de alta confiabilidad y duradero en función del tiempo para que permita mantener la máquina operando en condiciones óptimas. Durante dicho proceso mencionado anteriormente, hay diversas aplicaciones en las que el control de movimiento debe ser absoluto, tales como cerrar y abrir el molde, acercar la boquilla de inyección, rotación del husillo y presión de inyección (Parker, 2020).

Para lo anterior se han denotado diferentes avances de la tecnología, se está generalizando el uso de electroválvulas y actuadores como algunos de hidráulicos que los componentes principales de sistemas transforman la potencia hidráulica en potencia mecánica para efectuar trabajo, especialmente en máquinas de operación automática o en aquellas donde la eficiencia y rendimiento de operación son muy apreciados (Paya, 2012).

La compañía BOLTEN LTDA es una empresa dedicada más de 30 años a la producción de varios productos con máquinas inyectoras y en su planta posee una inyectora de marca FT 300 del año 2002 que conserva una unidad de inyección de muy baja capacidad volumétrica, por lo cual no está siendo muy eficiente en el proceso de inyección y a la vez sus componentes van cumpliendo su vida útil, por ejemplo en los seis últimos meses esta máquina ha bajado su indicador de eficiencia en planta, porque ya no tiene la capacidad volumétrica que se requiere para los nuevos moldes que han llegado de más capacidad. Qué anteriormente estaba en un 80 y 90 % de eficiencia y ahora actualmente está en 33% de eficiencia en planta en comparación con las otras inyectoras que si están dentro los indicadores requeridos por la compañía. Para la realización de dicho proyecto se realizarán hay que tener en cuenta 3 ítems importantes:

- (1) Al momento de elegir entre remplazar la máquina antigua por una de última generación, o rediseñar y modernizar las partes obsoletas la primera opción representa una gran inversión y la segunda le da el derecho de la máquina antigua logrando de esta manera, apoyar el proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad que ha ido implementando el departamento en los últimos años.
- (2) La caracterización de un dispositivo conlleva una serie de pasos que en conjunto generan una ruta ideal para la selección de nuevas tecnologías. Lo inicial es caracterizar la máquina en su funcionamiento original, luego realizar un despiece con base en sus manuales de fábrica para determinar su eficiencia, en tercer lugar, seleccionar las piezas a modificar y rediseñarlas según las necesidades de repotenciación y finalmente realizar pruebas con las piezas rediseñadas. Cabe resaltar que dentro de estos pasos hay una serie de subrutinas que ayudan a cumplir estos objetivos. Lo cual convierten el rediseño en un trabajo arduo de investigación y desarrollo tecnológico.

- (3) La parametrización de un equipo da algo muy importante en las industrias en este siglo debido a que se logra generar una repetibilidad en los ensayos realizados, es decir, si se tiene una máquina con un panel o dispositivo de control que permita regular las diferentes variables de trabajo, tengo repetibilidad. Es importante este concepto porque las pruebas de repotenciación se validan mediante este proceso.

Con base en lo anterior, se formuló este proyecto que tiene como objeto de investigación, rediseñar una máquina de inyección de plástico (PET) para la repotenciación de su eficiencia de producción para empresa Bolten Ltda.

1. Capítulo 1 – Planteamiento, justificación y objetivos

1.1 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta el concepto básico de la repotenciación de una maquina el cual consiste en modificar, adaptar o reestructurar ciertos componentes de gran importancia en el diseño original para maximizar el uso del equipo, aumentar la productividad, mejorar la precisión del equipo, disminuir tiempos muertos entre otros factores positivos. La compañía BOLTEN LTDA precisa repotenciar una inyectora de PET la cual presenta un rendimiento ineficiente para las necesidades de dicha empresa. El rendimiento de esta inyectora esta alrededor del 33% el cual es supremamente bajo respecto a otras inyectoras modernas, las cuales presentan rendimientos superiores al 80% (Guaman, 2017). Debido a esto la empresa BOLTEN LTDA se planteó la opción más rápida la cual es: *“Adquirir una nueva inyectora con un costo de \$ 157.500.000 COP, para aumentar la capacidad de producción, disminuir otros factores negativos (tiempos muertos, paradas de mantenimiento, entre otros) y así cumplir con sus demandas en ventas debido a que su capacidad volumétrica está limitada respecto a las demás inyectoras”*.

Sin embargo, y teniendo en cuenta dicha problemática el departamento de mantenimiento hizo una propuesta de rediseñar la maquina FT 300 en el sistema de la unidad de inyección y repotenciando esta máquina quedaría de igual capacidad volumétrica y aumentaría la eficiencia a 90 o 95 % e igual que las demás máquinas y su inversión sería de \$52.400.000 millones de pesos M/L, lo cual se estarían ahorrando \$105.100.000 millones de pesos M/L y dejando la maquina en toda su funcionalidad adecuada. De acuerdo con lo anterior se formula la siguiente pregunta problema: *¿Es posible repotenciar la maquina inyectora a un 90% de su eficiencia teniendo como base la baja eficiencia mostrada (33%)?*

1.2 Justificación

En la compañía de BOLTEN LTDA se fabrican productos sólidos en diferentes clases de materia prima y en distintos moldes de inyección como por ejemplo inyección directa y e inyección por agujas utilizando moldes de última tecnología para la fabricación de preformas en material PET, envases para el consumo, empaques en la línea de cosméticos y envases de productos higiénicos. Con la maquina FT 300 se fabrican productos en material PET y productos en materiales de polietileno, (como preformas y tapas). Teniendo en cuenta que la tecnología de dicha maquina es obsoleta y los soportes técnicos son difíciles de solicitar, la finalidad de este proyecto es rediseñar y repotenciar la maquina FT 300 en su unidad de inyección, para obtener una mayor capacidad volumétrica que optimice la cantidad de producción y disminuya el tiempo de trabajo. Además de rediseñar y hacer su repotenciación tiene un propósito de satisfacer los requerimientos planteados por la presidencia de la compañía, teniendo en cuenta las normas de seguridad.

Adicionalmente, el desarrollo de este proyecto favorecerá a la Universidad Antonio Nariño y al grupo de investigación GI FOURIER debido al gran aporte científico y técnico centrado en el rediseño de máquinas o modificación de equipos en lo cual se centra la línea de investigación diseño y automatización industrial.

1.3 Alcance del proyecto

En la compañía BOLTEN LDTA se tiene una maquina inyectora de marca FT 300 la cual se va a rediseñar o repotenciar dicha máquina se analizará los sistemas de inyección, partes eléctricas e hidráulica, dispositivos como actuadores, controladores y sensores, cuando se tengan estos datos se verificará los defectos que presenta. Pero antes de esto se tomarán datos de máquina y se procederá hacer un estudio minuciosamente de la maquina FT 300 y así, hacer los planos hidráulicos, eléctricos y planos del rediseño.

Una vez que se halla ello el rediseño se harán pruebas de la unidad de inyección la cual es el punto clave en rediseñar, se harán las pruebas y resultados de cada componente o, dispositivo electrónico, mecánico y análisis, de proceso en modo manual y automático, como, por ejemplo; bomba hidráulica cierre de máquina y sistemas eléctricos, señales, sensores, y verificación de proceso como pruebas volumétricas de la unidad de inyección que es el dispositivo a cambiar en este rediseño o repotenciación de máquina.

Dichas pruebas se harán primero en el software SolidWorks para así garantizar que todos los cambios y diseños a modificar sea lo más preciso posible antes de empezar el rediseño. La finalidad de este proyecto es que la maquina FT 300 quede completamente funcional y eficiente como una maquina nueva, para que cumpla su desempeño y de optimo proceso en la compañía Bolten Ltda. Teniendo en cuenta que hay que hacerle una capacitación al personal operativo para que sepan operar la inyectora FT 300, y dejando evidencias y planos del nuevo rediseño y garantizar que a futuro se pueda hacer cualquier modificación sin afectar los sistemas de funcionamiento de la maquina Ft 300.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Rediseñar y repotenciar la maquina inyectora FT 300 de PET intercambiando la unidad de inyección por una con mayor capacidad volumétrica y tecnológicamente más avanzada para aumentar la capacidad y mejorar la eficiencia en la compañía BOLTEN LDTA.

1.4.2 Objetivo especifico

- a) Analizar características y especificaciones técnicas del funcionamiento de la maquina inyectora FT300 para su repotenciación
- b) Determinar los parámetros operativos y constructivos de la unidad de inyección para su repotenciación
- c) Seleccionar los componentes y elementos correctos como son sensores controladores y actuadores para su puesta en marcha
- d) Analizar los resultados experimentales en cada prueba y corroborar el funcionamiento de la máquina y cada uno de sus elementos, sensores, actuadores y controladores.

2. Capítulo 2 – Marco referencial

2.1 PET – Tereftalato de polietileno

La materia prima utilizada en la compañía Bolten Ltda. es la materia prima PET (Tereftalato de polietileno) pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliéster y que es un tipo de materia derivada del petróleo, fue descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941, quienes lo patentaron como un polímero para la fabricación de fibra. Este material tiene buenas características mecánicas, químicas y físicas por lo cual se ha enfocado en construcción, fabricación de envase y otras aplicaciones. Es procesable mediante soplado, inyección y extrusión, y apto para la fabricación de botellas, frascos, películas en láminas y piezas.

2.1.1 Ventajas del PET

- Este es un material de excelentes propiedades mecánicas
- Alto brillo y transparencia con barreras de gases,
- Bio-rentable (altas capacidades de reciclaje) y cristalizable,
- Esterilizable por gamma y óxido de etileno.
- De todos los polímeros este se encuentra ranqueado N° 1 en reciclado (Groover, 2007).

2.1.2 Desventajas del PET

- Tiempo de secado o curado.
- Todo poliéster debe ser curado correctamente para evitar pérdidas de propiedades.
- La humedad del polímero al ingresar en el proceso debe ser de máximo 0.005% (Groover, 2007).

2.1.3 Costos de materia prima

Los equipos de inyección y soplado con bio-orientación se supone una buena amortiguación en función de gran producción, y un material muy económico en el mercado de los polímeros. El precio actual del PET esta entre los \$814COP y \$850COP que en comparativa con otros tiempos y años se encuentra en un valor intermedio.

2.1.4 Temperatura

Los polímeros que tienen como base los poliésteres pierden propiedades o se deterioran cuando son sometidos a temperaturas superiores a 70°C, sin embargo, mediante la experimentación se ha logrado modificar los equipos para permitir llenado en caliente teniendo como punto de trabajo las propiedades del PET cristalino obteniendo trabajos a temperaturas cercanas a 230°C (Textoscientificos.com, 2005)

2.1.5 Disponibilidad

Hoy en día se produce PET en sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sur África.

2.1.6 Reciclaje

El PET como material polimérico y como se mencionó anteriormente se recicla y tomas las siglas RPET, lamentablemente el PET reciclado no es permitido para la fabricación envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso se ven afectadas por la pérdida de propiedades (Leonardo, 2012).

2.2 Moldeo por inyección

El moldeo por inyección es un proceso conformado en la implementación de moldes, los materiales como poliméricos (no todos) se calientan y se funden en el sistema de extrusión y posteriormente se envía al molde por medio del sistema de inyección donde el molde tiene una temperatura para enfriar el polímero y así obtener la forma diseñada. Dicho proceso le conoce moldeo por inyección y se puede fabricar de forma continua y de forma veloz, en grandes cantidades por lo tanto este sistema se utiliza en grandes industrias para la producción de amplia gama dependiendo su demanda (Keyence, 2021).

2.2.1 Tolva

En el proceso de inyección la tolva es un ítem del equipo de inyección en el cual se acumula la materia prima. Existen diferentes clases de tolva y estas se ajustan dependiendo el tipo de material que se procese, en el caso específico del material PET (Aguirre & Proaño, 2018).

- **Tolvas de precalentamiento:** Estas se usan para el calentamiento de la resina, y evitar que se humedezca, con el pasar del tiempo han mejorado la tecnología ya han fabricados tolvas más sofisticadas con mejores sistemas avanzadas para el secamiento de la resina PET que este es un material que carece de mucha humedad (Cespedes, 2009).
- **Tolva con deshumidificador:** Estas poseen una muy buena tecnología y la cual es usada para el calentamiento de la materia prima. Dentro de sus características principales es soplar aire caliente a una temperatura constante y la humedad la separa del aire caliente lo cual suministra aire seco a la resina y le da un mejor proceso en el proceso de inyección y soplado (Aguirre & Proaño, 2018)

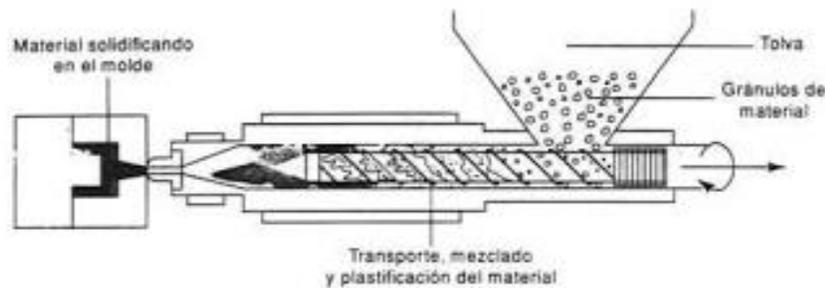
2.2.2 Plastificación por calentamiento

La plastificación por calentamiento se da cuando la resina solida pasa por el barril del sistema de extrusión y se mantiene caliente por resistencias que están sujeta en el barril de extrusión y por medio de la fricción del tornillo y el barril pasa estado líquido dando como resultado la inyección (Jacome & Villacís, 2014).

2.2.3 Moldeo por piezas

El moldeo por inyección de piezas es un sistema que inicialmente se encarga de fundir los gránulos de plástico (termofijos o termoplástico) que cuando se encuentren lo suficientemente fundido, se procede a la inyección en las cavidades del molde seleccionado, rellenándose y se solidificándose para crear el producto final (Protolabs Manufacturing Accelerated, 2021).

Figura 2-1. Diagrama esquemático de la unidad de inyección



Plastificación del material

Fuente: (Groover, 2007)

En la Figura 2-1 se describe todo el proceso de inyección por cual se puede observar desde que entra la resina en la tolva, pasa a la zona de alimentación, pasa por la zona de compresión y de ultimo por la zona de medición o distribución; en este último proceso es donde se da la inyección por moldeo. En el molde a una temperatura requerida es donde se solidifica la pieza, lo anterior se hace repetitivamente con un ciclo estándar de máquina de acuerdo con el molde que se esté inyectando.

2.2.4 Husillo y sus características

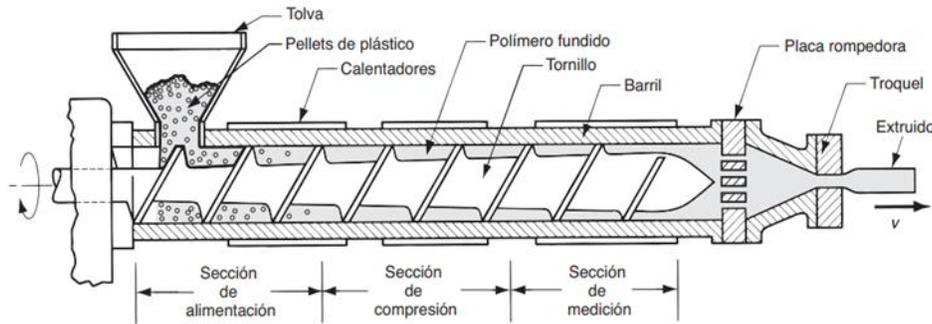
El tornillo o husillo está conformado por 3 secciones: Sección de alimentación, sección de compresión y la sección de medición. Dichas secciones son las cuales donde la resina se funde y termina en el proceso de moldeo por inyección tal como se muestra en la Figura 2-2. Los sistemas que posee la inyectora son:

Sección de alimentación: Es la sección donde el material se mueve del puerto de la tolva y recibe precalentamiento (Guaman, 2017).

Sección de compresión: Es la sección donde el material se transforma para pasar de solido granulado a líquido, se extrae aire atrapado entre los pellets y se comprime el material (Guaman, 2017).

Sección de medición: En esta sección se homogeniza material fundido y se genera presión suficiente para hacer bombeado a través de la apertura del troquel (Guaman, 2017).

Figura 2-2. Características del tornillo de una inyectora



Fuente: (Groover, 2007)

- **Banda de calor o boquilla:** La banda de calor o boquilla son los calentadores proporcionan el calentamiento confiable a altas temperaturas a superficies cilíndricas. Dichas bandas suelen estar disponible en construcción de una o dos piezas en construcción junto con una variedad de diámetros, anchos, voltajes, estilo de abrazadera, conexiones y potencia. Adicionalmente están fabricados en metales de alta resistencia al desgaste y alta durabilidad, casi siempre con altos contenidos de molibdeno y níquel (Groover, 2007).
- **Tornillo de calor hexagonal y tapa final:** El tornillo de calor hexagonal y la tapa final es el lugar donde se conserva la temperatura constante por que donde pasa el flujo para la inyección de las piezas a moldear y es donde se aloja la banda de calor y por ende está sujeta en la tapa final del barril (Groover, 2007).
- **Arandela de resorte o punta de tornillo:** Es el elementó mecánico en forma de triangular y parte final del husillo. Es el lugar donde se homogeniza el material antes de ser inyectado (Groover, 2007).
- **Banda de calor o collar de asiento:** Es la parte de la máquina donde se encuentra las zonas de calentamiento en el área de dosificación. En dicho lugar se encuentra la válvula anti-retornó la cual tiene que ser “aerodinámica” y que no tengan de

ningún modo cantos vivos o ángulos muertos que pudieran dar alguna retención al material (Groover, 2007).

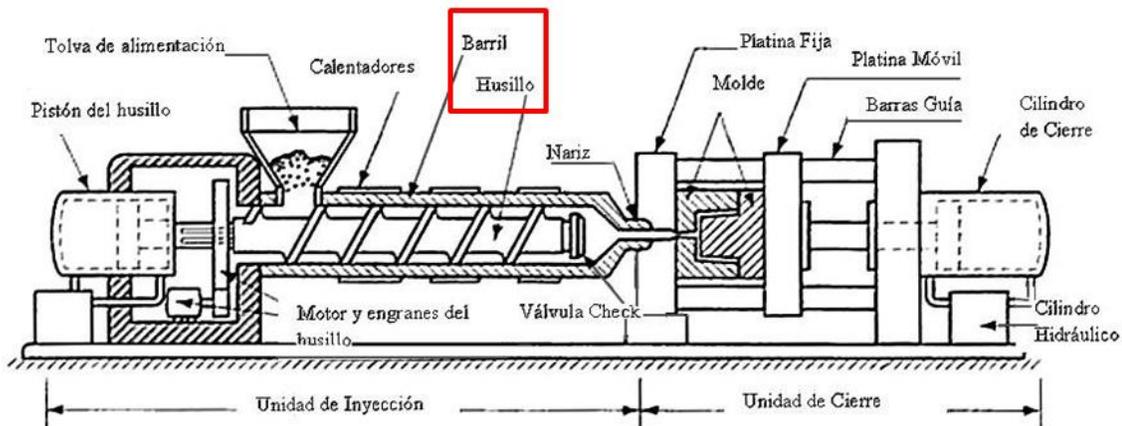
- **Tornillo de calor o collar de rosca:** El tornillo de calor es la rosca de la punta donde va coloca al husillo con rosca invertida, también se le llama collar de rosca la unión que se hace en la unidad de inyección al sistema de inyección hidráulica, y esta a su vez queda fija (Groover, 2007).
- **Llave plana o barril de tornillo:** Se le llama llave plana al cañero donde va engranado con el motor hidráulico y el husillo o camisa del husillo.
- **Barra vertical:** Son los pines o las guías donde van empotrado los tornillos de la carcasa para proteger el sistema de calentamiento del barril (Groover, 2007).
- **Anillo frio:** Es un elemento de forma como un collar y tiene un sistema de enfriamiento para que la resina en la zona de alimentación no tome una forma sólida (Groover, 2007).
- **Alfiler:** Es el orificio de entrada donde se alimenta el barril y está ubicado en la zona de alimentación (Groover, 2007).
- **Tuerca de bloqueo de barril:** Es la rosca que tiene el barril lo cual se enroca en a la unidad de inyección con un collar para que quede fijo el barril, se debe asegura que este bien ajustado para que el barril no se gire.
- **Tubo de termocupla:** Son las bases que van enroscado al barril desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación este tubo es donde se van a alojar los termopares y hacer el control de temperatura en cada zona del barril.

2.2.5 Unidad de inyección

En esta unidad es donde se funde los materiales y se inyecta a una temperatura muy alta dependiendo la resina que se esté utilizando para el proceso de inyección, y estas temperatura con que se funde la resina se da por medio de unas resistencias de abrazaderas o (Banda de calor), con unas especificaciones dependiendo el modelo del barril, lo cual esta temperatura está controlada por termopares e instrumentación tecnológica para que la resina no se degrade y pierda sus propiedades en este sistema se está utilizando proceso de conducción y radiación la cual es un proceso de transferencia

de energía en forma de calor por conducción este es un proceso basado en la transmisión de calor entre dos cuerpos, porque el calor fluye del cuerpo de mayor temperatura a otro de menos temperatura que está en contacto con el primero, este proceso está representado con la ley de Fourier. La unidad de inyección está conformada por dos partes principales que son barril y tornillo estas dos piezas es la que definen el volumen volumétrico de la máquina de inyección (Montilla, 2006).

Figura 2-3. Unidad de inyección de una maquina inyectora



Partes de una máquina de inyección típica.

Fuente: (Groover, 2007)

2.3 Estado del arte

Las investigaciones acerca de rediseño y repotenciación de máquinas inyectora de PET que funcionen de manera convencional es numerosa pero no existe información suministrada por las empresas o centros de desarrollo debido a que son investigaciones privadas. Teniendo en cuenta lo anterior, se han tomado como referencias trabajos de investigación realizados que nos ayuden a determinar unas ventanas de procesos, selección de valores y componentes para cumplir con los objetivos de dicho proyecto.

Richard Gurman (Guaman, 2017) en su proyecto de investigación *“Repotenciación del sistema eléctrico y electrónico de una máquina inyectora de plástico Van Dorn modelo 150-RS-8F para la empresa tecnitroquel S.A”* realizó una verificación del estado de la máquina en su estado original para así posteriormente realizar el rediseño de la máquina buscando

optimizar su proceso de inyección. Este proceso de rediseño inicio con la automatización de la maquina con un PLC y el rediseño de la interfaz humano-máquina para realizar pruebas de funcionamiento de la máquina manualmente. Como resultado obtuvo los siguientes ítems:

- Configuración de los tiempos de proceso mediante un panel HMI
- Aumentaron la producción en un 40%
- Documentación de planos, diagramas de proceso y manual de operación de la maquina teniendo en cuenta las operaciones con el PLC y la interfaz humano-máquina
- Capacitación del personal para el correcto uso después del rediseño

En el proyecto realizado por Fernando Jacome y Harold Villacís (Jacome & Villacís, 2014) titulado *“Diseño e implementación de un sistema automático para la repotenciación de una máquina inyectora de plástico marca BJC en la empresa ISISTEM”* se realizó de manera inicial un reconocimiento de las piezas en mal estado y posibles focos de repotenciación. Posterior a lo anterior, los investigadores plantearon una metodología resolutiva de los problemas presentados por los módulos encontrados con ineficiencias. Dentro de los módulos a reparar encontraron los siguientes:

- Sistema mecánico
- Diseño e implementación de un sistema de enfriamiento
- Diseño de moldes
- Diseño del sistema eléctrico de potencia y control
- Diseño del sistema de control de temperatura del cañón
- Diseño de la interfaz hombre-máquina
- Estudio de costos

Como resultado los investigadores obtuvieron que:

- Recuperación en su totalidad de la inyectora de plástico con toda su funcionalidad, mejora en el sistema automático implementado y método de operación más sencillo.

- Manuales de usuario y de mantenimiento
- Mejora en el sistema mecánico aumentando su capacidad de movimiento
- Mejora en el sistema eléctrico permitiendo una correcta distribución de los elementos de potencia y control
- Implementación de una pantalla táctil y botonera en la máquina para habilitar los 2 usos: manual y automático.
- Aumento en la temperatura de funcionamiento cercanas a los 220°C
- La inversión se recuperó al segundo año demostrando así la importancia de repotencias y rediseñar las máquinas de la empresa.

3. Capítulo 3 – Metodología

La metodología propuesta es de tipo experimental debido a que consiste en un rediseño y repotenciación de una maquina inyectora. El objeto de diseño y repotenciación es la unidad de inyección de una maquina inyectora de polímero FT 300 ubicada en la compañía Bolten Ltda. Para el desarrollo metodológico de dicho proyecto se plantearán cuatro fases acordes a los objetivos específicos.

1. Fase 1: Caracterización de los componentes de la maquina
2. Fase 2: Determinación de parámetros operativos
3. Fase 3: Selección de componentes para el rediseño
4. Fase 4: Experimentación mediante pruebas con el equipo rediseñado

3.1 Fase 1: Caracterización de los componentes de la maquina

Inicialmente se tiene reconocer de manera exacta el funcionamiento de la maquina y sus partes. La Figura 3-1 muestra el diagrama de proceso de la inyectora en estudio en búsqueda de reconocer e identificar las partes a corregir en el sistema. En este caso la parte critica o cuello de botella de la maquina se encuentra en la unidad de inyección.

Figura 3-1. Diagrama de funcionamiento de proceso de la inyectora FT 300



Fuente: Autores

Teniendo cuenta lo anterior se realizará una recopilación de información acerca de esta unidad de inyección que busque subsanar la baja eficiencia de dicha máquina en estudio. Para lo cual se propone realizar una recopilación de datos que dan el funcionamiento de la inyectora. Los datos se dividen en 2 partes:

La primera parte buscamos recopilar información de la inyectora en cuanto a su módulo de inyección, cerrado, unidad de poder y partes generales de máquina como se observa en la Tabla 3-1. Con lo anterior se busca obtener datos de fábrica y funcionamiento de dicha inyectora.

Tabla 3-1. Componentes de la inyectora FT300

INYECTORA FT300	
INYECCIÓN	Fuerza de inyección hidráulica
Volumen de tiro	UNIDAD DE PODER
volumen (ps)	Sistema de presión hidráulica
Tasa de inyección máxima	Motor de Bomba
Diámetro de tornillo	Números de zonas de control
Tasa de plastificación	GENERAL
Presión de inyección	Tiempo de ciclo de secado
Relación L:D del tornillo	Capacidad de tanque de aceite
Velocidad de tornillo	Dimensiones de máquinas
CERRADO	Peso de máquina
Fuerza de sujeción	Calentamiento de zona
Golpe de apertura	Voltaje
Tamaño de la platina	Frecuencia
Espacio entre barra de corbata	

La segunda parte es evaluar los componentes de la inyectora FT300, con los cuales se hará una descripción a detalle de las condiciones originales de dichos componentes. En este caso los componentes de mayor importancia en la máquina inyectora y los focos de rediseño son los siguientes:

- Controladores
- Actuadores

- Sensores
- Termocuplas

Dichos componentes se evaluarán con el objetivo de verificar su estado y así mismo generar una solución de repotenciación en el sistema de la máquina. Los datos de mayor importancia a obtener de los componentes son:

- Planos
- Fichas técnicas de los componentes (disponibles)
- Imágenes actuales de los componentes
- Dimensiones
- Esquemas de funcionamiento

Con lo anterior, se espera obtener un análisis de sus características y las especificaciones presentadas para poder generar una repotenciación de dicha máquina.

3.2 Fase 2: Determinación de parámetros operativos

En la segunda fase de desarrollo metodológico del proyecto se busca determinar los parámetros operativos de dicha máquina para así generar un recambio en los componentes del equipo y paralelamente generar la repotenciación de dicho equipo.

Inicialmente se busca determinar el diámetro del tornillo ideal para generar una repotenciación de la maquina y así poder aumentar la capacidad de producción de esta, es decir, los parámetros operativos óptimos. Para lo anterior se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1. Diámetro del tornillo

$$W.C = \pi * D * \tan(A) * \cos(A) = \pi * D * \sin(A)$$

Teniendo en cuenta el valor obtenido se compararán los diferentes parámetros operativos del sistema.

En segundo lugar y para determinar el primer parámetro operativo se calcula el gasto volumétrico de la unidad de inyección. Para lo anterior se utiliza la Ecuación 3-2.

Ecuación 3-2. Gasto volumétrico o flujo masico

$$V = \pi * D^2 * L * \rho$$

Para la ejecución de dicho gasto volumétrico poseemos los siguientes datos:

- ✓ Diámetro= 38mm
- ✓ Longitud de carga =190mm
- ✓ Densidad del PET =1.34g/m³

Con este valor podemos obtener una idea de la capacidad que tiene la maquina en la actualidad. Teniendo en cuenta el cambio de valor del diámetro del tornillo propuesto para el rediseño, se implementa la misma ecuación (Ecuación 3-2) buscando comparar los valores de gasto volumétrico.

Ecuación 3-3. Flujo contrapresión

$$Q_x = Q_d - Q_h$$

$$Q_x = 0.5 * \pi^2 * D^2 * Nd * Sen(A) * Cos(A) - \frac{\rho * \pi * D * Sen A}{12nL}$$

Posterior de hallarlo para 38mm se halla para el valor seleccionado

Finalmente se halla el valor de presión máxima y se compara con las variables que cambian. Para hallar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3-4. Presión máxima

$$P_{max} = \frac{6\pi D \cdot N \cdot l \cot A}{d * 10^{-3}}$$

3.3 Fase 3: Selección de componentes para el rediseño

Con base en todos los resultados que se obtengan en los cálculos de los parámetros operativos se da inicio al rediseño. El primer paso es realizar es el elemento que sustituir que en este caso es la unidad de inyección. Para esto se utilizará el programa SolidWorks® donde se harán los diseños previos de las partes a repotenciar para tener una mejor eficiencia en la maquina inyectora FT300.

En este caso en SolidWorks® se rediseñará los siguientes ítems:

- Unidad de inyección
- Caja de rodamiento
- Ubicación de resistencias

Cabe resaltar que por políticas de privacidad de la empresa se reservará las dimensiones finales de los dispositivos a realizar. Por otro lado, después de terminar los diseños se procede a realizar el desmonte de las unidades que componen dichos ítems a repotenciar. Estas unidades son las siguientes:

- Unidad de inyección
- Motor hidráulico, barril y tornillo
- Bomba y mangueras hidráulicas

Posterior al desmontaje y diseño de las piezas a reemplazar se hace el recambio para finalmente realizar las pruebas experimentales con los parámetros obtenidos y así corroborar el aumento de la eficiencia de la maquina inyectora FT300.

3.4 Fase 4: Experimentación mediante pruebas con el equipo rediseñado

Para la experimentación mediante pruebas inicialmente se debe realizar el cambio de los componentes a reemplazar para observar así los valores presentados por el cambio. De manera inicial se realiza el cálculo de las resistencias de las abrazaderas, en segundo lugar, se da el montaje de la nueva unidad de inyección, pruebas experimentales donde se verificarán la presión, la temperatura de la tobera, se realizan los ajustes finales y las pruebas con material.

3.4.1 Cálculo de resistencia de abrazaderas

Las resistencias en su interior tienen varios componentes los cuales trabajan por los principios de Joule y su teoría es que una corriente eléctrica fluyendo a través de un resistor lo cual convierte la energía eléctrica en energía calorífica. Dicho concepto se aplicaría en una máquina inyectora principalmente en el sistema de calefacción del barril donde se calienta la resina y la convierte de sólida a líquida para ser inyectada por sistemas hidráulico de la inyectora y sacar el producto por moldeo y este se enfría a una temperatura requerida para el producto salga en óptimas condiciones.

Las resistencias de abrazaderas se usan comúnmente en máquinas de extrusión e inyectoras de plásticos. Según la temperatura requerida en su proceso hay dos características expuestas.

- **Rango de 250°C:** con aislamiento de mica la potencia máxima requerida es $4W/cm^2$.
- **Rango más de 250°C:** con aislamiento de mica la potencia máxima requerida es de $9w/cm^2$.

Y por este recubrimiento aislante cerámico, las resistencias se encuentran aislada de la estructura metálica. Con este procedimiento se puede revisar el buen estado de las resistencias.

Tabla 3-2. Característica de resistencia a utilizar en el rediseño

RESISTENCIA	VOLTAJE (V)	DIMENSIONES (mm)	WATTS (W)
Resistencia de boquilla	220	Φ 40 X 50	700
Zona 1	220	Φ70 X 80	700
Zona 2,3 y 4	220	Φ 118 X 90	220

Fuente: (Bolten, 2020)

3.4.2 Montaje de unidad de inyección (Nuevo modelo)

En este montaje se colocará un nuevo diseño de unida de inyección de más capacidad volumétrica y tornillos especificado para material PET, adicionalmente, se le adaptan las nuevas resistencias, termocupla y sistemas hidráulico-nuevos (bomba hidráulica, motor hidráulico y tubería y mangueras hidráulicas). Se readaptarán todos los componentes que se encuentren en malas condiciones.

3.4.3 Pruebas experimentales

Se harán la prueba de todo el montaje que hizo en vacío como, prueba de temperatura, prueba de movimiento de tornillo de la unidad de inyección, prueba de sistema hidráulicos y verificación de presión y funcionamiento. Posterior a la terminación del montaje se procede hacer las pruebas de movimientos y presión de maquina en sistema manual y después que todos sus movimientos se encuentren en óptimas condiciones seguirán las pruebas en automático.

3.4.4 Verificación de presión de máquina

En este punto en la primera prueba esencial para verificar presiones del sistema y si hay algún error se tomaran los correctivos. Aquí observaremos todas las presiones por cada movimiento que se haga, en pruebas manuales y posteriormente mediante pruebas automáticas.

3.4.5 Verificación de temperatura de tobera

En esta sección se evaluará el proceso de calentamiento de las resistencias de tobera que es la que se encarga del calentamiento de la resina para poder hacer su proceso de inyección y sus variaciones.

3.4.6 Ajuste y prueba final

En esta sección se harán las calibraciones de temperatura y capacidad volumétrica respecto a la unidad de inyección, esta prueba se hará primero en manual y dependiendo su resultado se hará en automático.

En primer lugar, hay que escoger el tipo de tornillo que emplearíamos en este proyecto, para que la capacidad requerida por la compañía BOLTEN LTDA. En segundo lugar, se ajustarán las temperaturas y sus valores específicos de variables de proceso de movimiento presiones y temperaturas. Las pruebas antes mencionadas se realizarán teniendo en cuenta la verificación de los elementos cambiados y en segundo lugar escogiendo diferentes longitudes de carga del pistón de carga. La

Tabla 3-3. Pruebas manuales

Longitud de carga	Defectos	Evidencia
100mm	Detallar los defectos posibles en las muestras inyectadas	Fotografía con gramaje incluido
130mm		
170mm		

Fuente: Autores

Por otro lado, las pruebas en automático tendrán los resultados por posición y se evidenciarán resultados en modos automáticos donde se evaluarán los excesos de material porcentualmente y finalmente se harán pruebas con probetas tipo tubos de ensayo en la que se escogerán diferentes ciclos y se evidenciarán los tiempos de procesado de cada una.

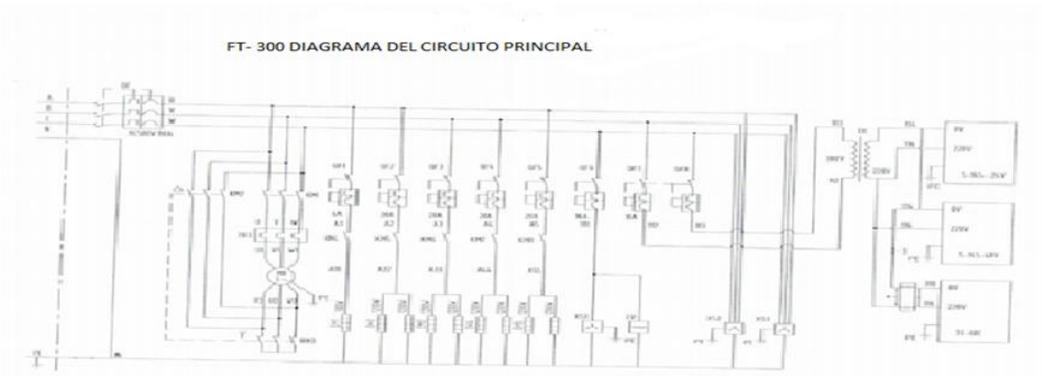
4. Capítulo – Resultados y discusión

4.1 Análisis de las características y especificaciones técnicas del funcionamiento de la maquina inyectora FT300 para su repotenciación

4.1.1 Introducción y planos de la maquina

Inicialmente se recolectaron los manuales y planos de máquina para poder analizar el rediseño y repotenciación de la máquina de inyección y así tener más eficiencia en producción, que es el objetivo que se requiere.

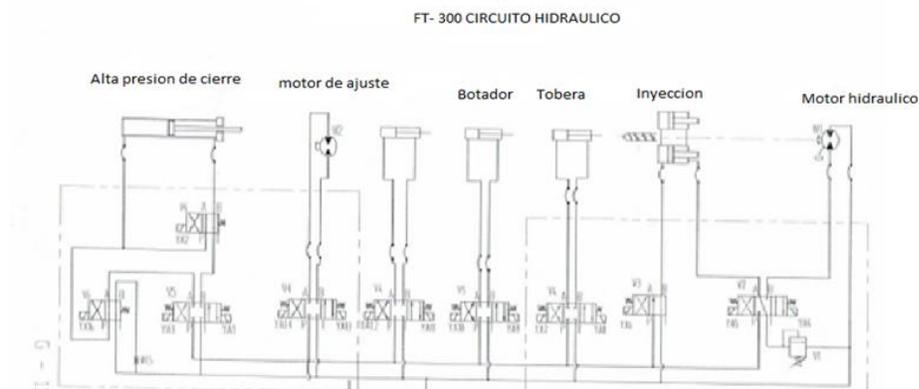
Figura 4-1. Diagrama principal de maquina



Fuente: (Bolten, 2020)

En la Figura 4-1 se puede apreciar el circuito principal de maquina el cual se encuentra en perfectas condiciones, los componentes eléctricos, motor principal, fusible, breaker, transformador de 220 a 380 V, relé y contactores, por lo tanto, se empleará este mismo circuito de máquina para el rediseño y repotenciación de la máquina inyectora.

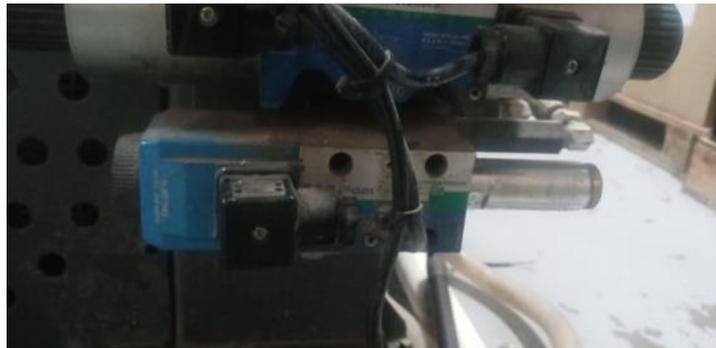
Figura 4-2. Circuito hidráulico



Fuente: (Bolten, 2020)

En la Figura 4-2 se observa el principal circuito de la máquina el cual es el hidráulico y es en este donde se va a realizar el rediseño y repotenciación de máquina inyectora. El motor hidráulico tendrá que ser reemplazado por el requerido por el rediseño de máquina.

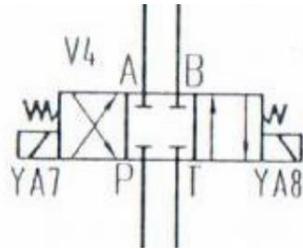
Figura 4-3. Válvula hidráulica del sistema de tobera



Fuente: Autores

Como se pueden observar en la Figura 4-3 la válvula hidráulica del sistema de tobera se encuentra deteriorada y debido a que esta posee un solo movimiento que es hacia adelante, cuando precisa mover hacia atrás le falta el solenoide o bobina para que pueda realizar su función normalmente que es donde se encuentra la unidad de inyección a rediseñar. La función de esta válvula es el movimiento de tobera hacia atrás y hacia adelante donde se adhiere con el molde de inyección.

Figura 4-4. Diagrama funcional de válvula 4/3



Fuente: (Bolten, 2020)

Tabla 4-1. Estado de válvula

Válvula principal involucrada			
Ítem	Modelo	Consumo	Estado
Válvula 4/3 de 350 Bares a 3500psi	Vickers	24DC 30w A 0,5/12	En estado automático la válvula se comporta de manera óptima, sin embargo, al colocarla de forma manual y actuar la tobera hacia atrás hay que hacerlo activando el bulón manualmente para mover la tobera hay que remplazar la válvula o colocar el solenoide.

Fuente: Autores

Tabla 4-2. Estado de actuador

Actuador involucrado			
Ítem	Modelo	Presión	Estado
Cilindro hidráulico de unidad de inyección	X	3000Psi	El cilindro se encuentra en buen estado, no se observan fugas de aceite y se utilizará el mismo para el rediseño.

Fuente: Autores

4.1.2 Componentes de la inyectora FT300

La instrumentación correspondiente para el rediseño de la maquina inyectora FT300, tienen que ser de buena precisión para garantizar comportamiento de automatización de esta. La Figura 4-5, la Tabla 4-3 y la Tabla 4-4 muestran las características de la maquina inyectora FT 300 y especificaciones técnicas para su rediseño y repotenciación.

Figura 4-5. Inyectora FT 300



Fuente: Autores

Tabla 4-3. Características de la Inyectora FT300

INYECCION		FT 300
		A
Volumen de tiro	Cm ³	215
volumen (ps)	G Oz	196
Tasa de inyección máxima	Cm ³ /s	97
Diámetro de tornillo	Mm	38
Tasa de plastificación	Kg/h	46
Presión de inyección	Mpa	193
Relación L:D del tornillo		22.1
Velocidad de tornillo	r/min	0-180
CERRADO		
Fuerza de sujeción	Kn	1300
Golpe de apertura	Mm	380

Continuación de la Tabla 4-3

Tamaño de la platina	Mm*mm	610*610
Espacio entre barra de corbata	Mm*mm	410*410
Espesor de molde (Max-Min)	Mm	150-430
Carrera de inyección hidráulica	Mm	120
Fuerza de inyección hidráulica	Kn	42
UNIDAD DE PODER		
Sistema de presión hidráulica	Mpa	17.5
Motor de Bomba	KW	7.7
Números de zonas de control		4+(Nozzle)
GENERAL		
Tiempo de ciclo de secado	Seg	1.3
Capacidad de tanque de aceite	L	200
Dimensiones de maquinas	M*m*m	4.9*1.2*1.8
Peso de maquina	Kg	3550
Calentamiento de zona	C°	270-300
voltaje	V	380
frecuencia	Hz	50
Potencia general	kW	18.7

Fuente: Autores

Tabla 4-4. Características y parte de la unidad de inyección de la maquina FT 300

1	Banda de calor	Ø55X40 400W AC220V	1	1	Boquilla	1
2	Tornillo de calor hexagonal	M14X55 12.9	10	2	Tapa final	1
3	Arandela de resorte	14	10	3	Punta de tornillo	1
4	Banda de calor	φ100X85 930 AC220V	8	4	Collar de asiento	1
5	Tornillo de calor	M8X22	1	5	Collar de rosca	1
6	Arandela de resorte	8	1	6	Tornillo	1
7	Llave plana	C10X45	1	7	Barril de tornillo	1
				8	Barra vertical	2
				9	Anillo frio	1

Continuación de la Tabla 4-4.

			10	Alfiler	1
			11	Tuerca de bloqueo de barril	1
			12	Tubo termocupla	

Fuente: Autores

Los elementos que se van a emplear en este proyecto de rediseño y repotenciación de maquina inyectora FT 300 deben de ser componentes de muy buena precisión para garantizar su funcionamiento y automatización, los componentes son los siguientes:

- a) Controladores
- b) Actuadores
- c) Sensores

4.1.3 Controladores

Son dispositivos que facilitan el movimiento sincrónico de un equipo o máquinas, estos componentes están enlazados con una Interfax o PLC lo cual le mandan una señal o un pulso para que gobierne un movimiento, existen cantidades de controladores que son utilizados en las industrias para el trabajo que se requiera, en nuestro caso lo utilizamos para controlar los movimientos de las partes móviles de la inyectora FT 300 a rediseñar (Vicente & López, 2006). Hay varios tipos de controladores que son usados en la inyectora en investigación:

- Controladores de temperatura
- Controladores de presión
- Controladores lineales, etc.

Controladores de temperaturas: Este controlador mantiene la temperatura de un sistema calefacción por resistencias lo cual trabaja con un sistema interno ya sea por P.I.D o sistema ON u OFF comandada por señales termopares (PTJ 100) con una corriente de (0 a 20Am y de 4 a 20mA) y una tensión lineal de (0 a 5v o 10v) como se muestra en la

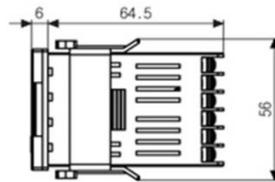
- Figura 4-6 (Holman, 1999).

Figura 4-6. Controlador de temperatura de la inyectora FT300



Fuente: Autores

Figura 4-7. Dimensiones del controlador



Fuente: (Bolten, 2020)

El controlador mostrado en la

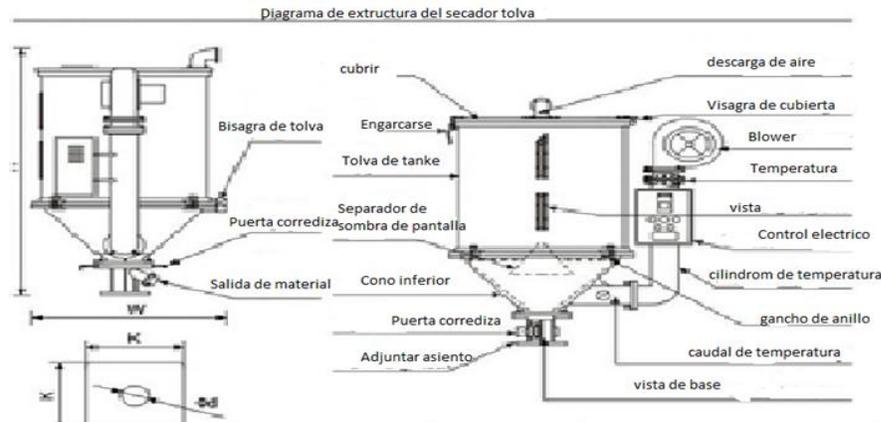
Figura 4-6 se usa en la tolva de secado para el proceso de calentamiento de lo cual tiene un tiempo de residencia de 4 a 6 horas, para que la resina quede totalmente sin humedad y pueda tener un proceso optimo en producción. En la Figura 4-8 se evidencia este proceso por el cual es controlado a una temperatura entre 115 °C a 189 °C lo cual se representa en una gráfica de secado del PET dependiendo kg/h consumido (Holman, 1999).

Figura 4-8. Tolva secadora de la inyectora FT 300



Fuente: Autores

Figura 4-9. Diagrama de estructura del secador de tolva



Fuente: (Bolten, 2020)

- Controladores de presión:** Se utilizan para controlar la presión absoluta de un sistema o circuito en este campo de controladores hay varios tipos de controladores de aire y liquido estos componentes están controlado por un microprocesador que controla las mediciones de precisión y fiabilidad que garantiza su confiabilidad en su proceso, y para nuestro campo que es la industria de plástico con máquinas inyectoras se requiere para el control de presión hidráulica y neumática.

Figura 4-10. Controlador o traductor de presión de la FT300



Fuente: Autores

Lo cual la presión de flujo que controla este dispositivo se ve reflejada en un controlador manométrico de presión el cual se muestra en la Figura 4-11, este dispositivo muestra la

presión en PSI, BAR KP Y MP que dependiendo la presión requerida por el sistema se utilizaran este dispositivo según la exigencia de presión solicitada. Este traductor de presión contiene elementos compuesto por un diafragma de acero, otra vez de empalmes de altas presión se aplica a la presión del oíl contra el elemento censor, al variar la presión se modifica la flexión del diafragma de acero y si modificándose la magnitud de resistencia eléctrica y esos se refleja. con ayuda de una curva característica programada en la unidad de control del J248 se calcula la presión manométrica del oíl (Montilla, 2006).

Figura 4-11. Verificación de volumen volumétrico



Fuente: Autores

- **Controladores lineales:** En este sistema lineal son muy útiles para los sistemas o circuitos eléctricos, motores eléctricos y sistemas hidráulicos son utilizados en los grandes sistemas de ingeniería y son óptimo y de buena precisión para su desempeño de automatización, y son muy usado en este campo porque tiene un margen de error muy bajo. Debido a que son comandos de sistemas electrónicos por medio de PLC que registran una entrada y una salida a un voltaje DC, se ven reflejado su lectura en la tarjeta HMI que es la conexión entre hombre y maquina como se evidencia en la Figura 4-12 (Bolten, 2020).

Figura 4-12. Ubicación de controlador lineal de la inyectora FT300



Fuente: Autores

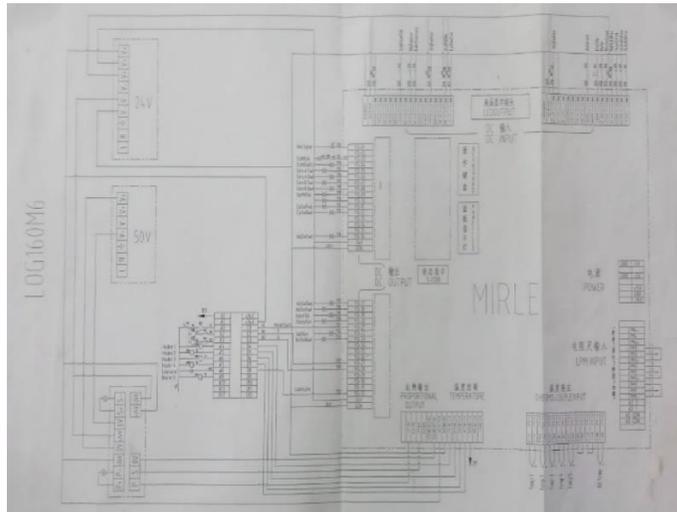
- **Interfax:** De acuerdo su parametrización y comandos colocados en la programación de la inyectora FT 300 son los valores que mostrará en la Interfax recibiendo la señal del PLC, que se mostrará en la Figura 4-13 que es el control de mando electrónicos donde se reflejan las entradas y salidas de las señales por voltajes DC y pulsos, estas señales son las que comandan las válvulas hidráulicas, sensores de presión y de temperatura (Bolten, 2020).

Figura 4-13. Interfax maquina hombre de la inyectora FT300



Fuente: Autores

Figura 4-14. Control de mandos y PLC de La inyectora FT 300



Fuente: Autores

Figura 4-15. Tablero Electrónico del PLC y control de mando



Fuente: Autores

Plano de control de la inyectora FT 300: En el plano o diagrama electrónico de la inyectora FT300 que se presenta en la Figura 4-15 se encuentran las entradas y salidas del sistema de control y conexión hombre máquina, el cual viene con un programa de fábrica y está enlazado con todos los elementos de la maquina dependiendo su voltaje y corriente de mando (Bolten, 2020).

4.1.4 Actuadores

Son elementos de mucha importancia dentro de la automatización de las maquinas industriales, estos dispositivos son capaces de generar energía hidráulica, neumática o eléctrica que proporciona una cantidad de fuerza para mover otro dispositivo mecánico. Estos actuadores tienen una acción de fuerza que son, mecánicos hidráulicos, eléctricos y neumáticos (Vicente & López, 2006). Son utilizados para el trabajo que se requiera cada uno de ellos como se muestran a continuación:

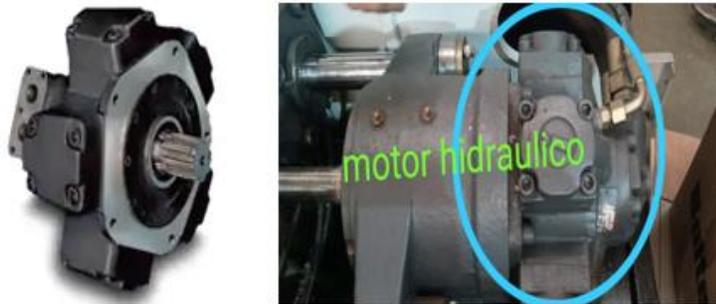
- **Actuadores mecánicos:** Son dispositivos que trabajan mediante un proceso de fuerza y movimiento como lineales o rotativos ejemplos como engranajes poleas resortes cadena rieles y otros. El principal actuador de una maquina a inyectora el motor hidráulico radial de pistón este elemento le da la fuerza y movimiento al tornillo o husillo del barril de la maquina inyectoras, este actuador trabaja con liquido oíl y su velocidad y fuerza es controlada por medio de PLC conectada con la tarjeta HMI la cual es puente de maquina hombre (Sanchez, 2001).
- **Motor hidráulico radial de pistones:** Este dispositivo su trabajo es transmitir la potencia angular al tornillo o husillo este componente trabaja a altas revoluciones (RPM) (Vicente & López, 2006).

Tabla 4-5. Ventajas y beneficios de un motor hidráulico radial con pistones

Ventajas	Beneficios
Alta eficiencia mecánica	Máxima precisión de control de posicionamiento
Operación silenciosa	Larga vida útil
Alta resistencia al choque térmico	

Fuente: Autores

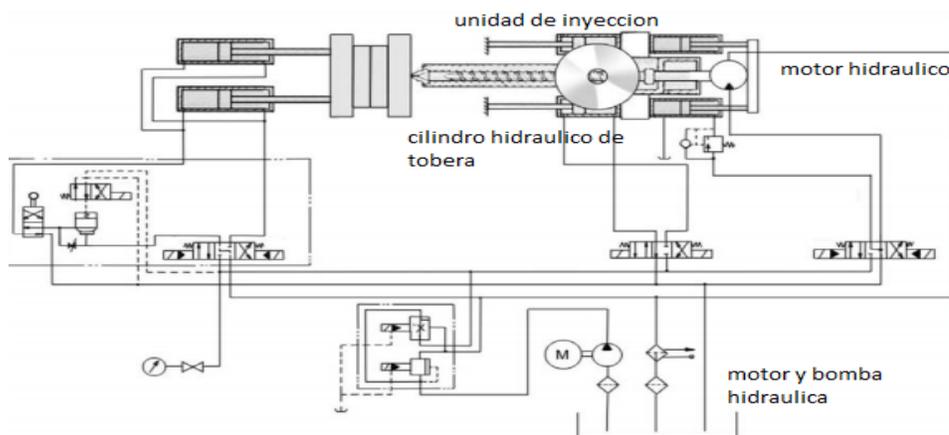
Figura 4-16. Motor Hidráulico de pistón



Fuente: Autores

En la Figura 4-17 se representa el circuito hidráulico de la maquina inyectora FT 300 de la empresa Bolten Ltda. la cual se especifica dónde y se observa la conexión hidráulica del motor hidráulico y el sistema de la unidad de inyección la que se va a rediseñar y repotenciar

Figura 4-17. Plano hidráulico de la inyectora FT 300



Fuente: (Bolten, 2020)

- **Actuadores neumáticos:** Son dispositivos de transmisión neumática (aire comprimido) que sirven para mover un sistema mecánico y cumplir un movimiento

fuerza seguro estos sistemas son seguros y económicos para la industria ya que son diseños sencillos (Vicente & López, 2006).

Figura 4-18. Cilindro neumático y sus partes



Fuente: Autores

- **Actuadores hidráulicos:** Estos sistemas si se requiere de grades esfuerzos ya que son comandado por sistemas hidráulicos, la fuente de energía de estos componentes es el aceite líquido son sistemas de gran potencia y dan energía a otro sistema mecánico (Vicente & López, 2006).

Figura 4-19. Ubicación de cilindro hidráulico de tobera o barril



Fuentes: Autores

- **Actuadores eléctricos:** Son dispositivos que comandados por una señal y proporciona un movimiento a través voltajes DC o pulso electrónico, son elementos de mucha precisión lo cual se utilizan para las maquinarias de inyección FT 300 de la compañía Bolten Ltda., de última tecnología lo cual garantizan un delta menor de error, también son utilizados como controladores o potenciómetros lineales. Estos actuadores son los

que definen la posición donde se requiera según las especificaciones de máquina y moldeo por inyección como se evidenciaría en la Figura 4-20, que está ubicado en el sistema de la unidad de inyección la cual su función es mandar la señal de pulso al sistema electrónico del PLC (Bolten, 2020).

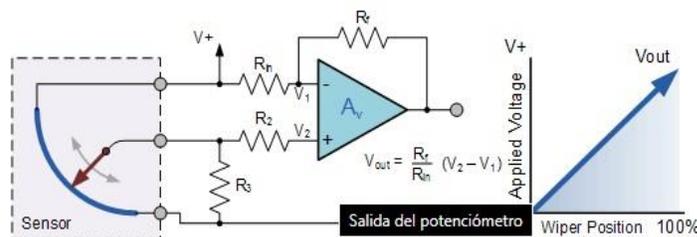
Figura 4-20. Actuador o potenciómetro eléctrico



Fuente: Autores

Es de saber que los sensores lineales o potenciómetros de posición son dispositivos receptivos y tienen muchas cualidades, es de muy buena tecnología, son muy económicos y fáciles de usar, al igual también este sensor tiene muchas desventajas como frecuencia limitada, baja repetibilidad y desgaste entre piezas móviles ya que está expuesto a movimiento constante.

Figura 4-21. Circuito de actuador o potenciómetro lineal

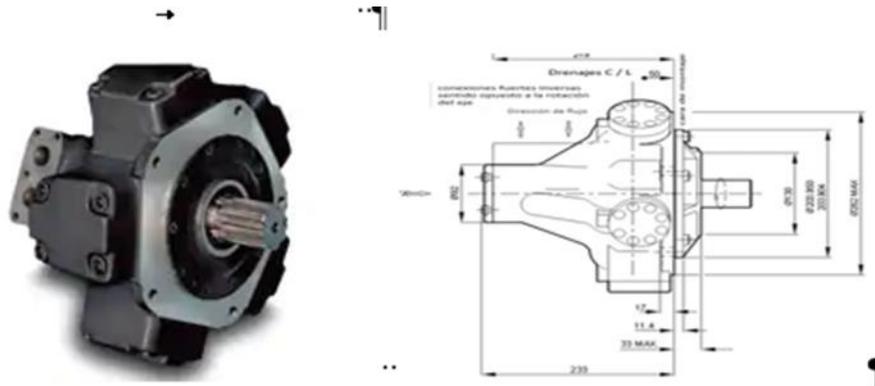


Fuente: (Básica, electrónica, 2016)

- **Motor hidráulico:** Ya sabemos que este es el principal dispositivo esencial de la máquina FT 300 y para saber cuál es el tipo de motor hidráulico que se va a utilizar en la inyectora FT 300 de la compañía Bolten Ltda. Se tuvo que hacer una simulación con el software de Parker, por medio de este software se le suministrada la información y el no arroja el resultado del motor que se requiere con sus especificaciones para la

maquina estipulada en la siguiente ilustración se muestra el motor hidráulico a escoger por medio del software Parker (Parker, 2020).

Figura 4-22. Motor hidráulico de pistón en simulación



Fuente: (Parker, 2020)

Figura 4-23. Especificaciones técnicas

N.º DE PIEZA:	262056
DESPLAZAMIENTO DEL PUERTO DE SALIDA 1 (CC/REV):	4502.7
TIPO DE EJE:	Male spline DIN 5463
OPCIÓN DE RETROALIMENTACIÓN DE VELOCIDAD:	None
MATERIAL - JUNTAS:	Buna-N
ROTACIÓN:	Counter-clockwise
TIPO DE CONEXIÓN:	Six-bolt connection
Restablecer atributos	

Fuente: (Parker, 2020)

Figura 4-24. Características de rendimiento

CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO	
TAMAÑO DE LA BRIDA	400 h7
VELOCIDAD OPERATIVA MÍNIMA	0.5 RPM
VELOCIDAD OPERATIVA MÁXIMA	170 RPM
PRESIÓN DE SALIDA CONTINUA	250 bar
PRESIÓN DE SALIDA INTERMITENTE	300 bar
PRESIÓN DE SALIDA MÁXIMA	420 bar
MARCA	Denison

Fuente: (Parker, 2020)

- **Sección de barril y tornillo.**

El Barril y el tornillo es el dispositivo a rediseñar o repotenciar en la inyectora FT 300 de la compañía Bolten, lo cual es el objetivo principal del proyecto y esta inversión se está haciendo para un costo beneficio de la empresa por lo cual se está ahorrando más de un 50% en dinero en esta inversión, lo cual es que en este proyecto la inyectora FT 300 sea igual y eficiente que una maquina nueva, el objetivo del rediseño o repotenciación de la sección del cambio del barril y tornillo es que la capacidad volumétrica sea la indicada para el rediseño o repotenciación que se requiere, para que la inyectora FT 300 sea eficiente en el área de producción, en este proyecto se tiene que dejar planos de rediseño nuevo, que a futuro se pueda hacer modificaciones con funcionamientos manuales y automáticos.

Figura 4-25. Barril, y tornillo nuevo rediseño



Fuente: (Bolten, 2020)

Sección de barril o tobera en la Figura 4-26 evidencia donde va localizado la unidad de inyección a rediseñar o repotencia de la maquina FT 300 de la compañía Bolten Ltda.

Figura 4-26. Ubicación del barril o tobera de la FT 300



Fuente: Autores

4.1.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo cuya función es detectar movimientos temperaturas, presión, luces y llevarla a un dispositivo de lectura variable para controlar o monitorear los registros captados por el sensor, también se puede decir que recibe una señal y la convierte en energía a otro dispositivo (Cespedes, 2009).

En actualidad la evolución tecnológica ha generado variedad en los sensores, todos poseen rango de funciones muy amplios por lo cual son muy variadas y en el amplio mercado de la tecnología vemos que hay muchas clases de sensores que son utilizados para un trabajo específico requerido, por ejemplo, sensores de movimiento, sensores de temperatura, sensores de sonido, táctiles de luces etc. (Cespedes, 2009). Pero para nuestra función requerida que es para el rediseño de la inyectora FT300 de la compañía Bolten Ltda. necesitamos sensores de velocidad lo cual nos va a dar la lectura angular del motor hidráulico como se muestra en la Figura 4-27 (Bolten, 2020).

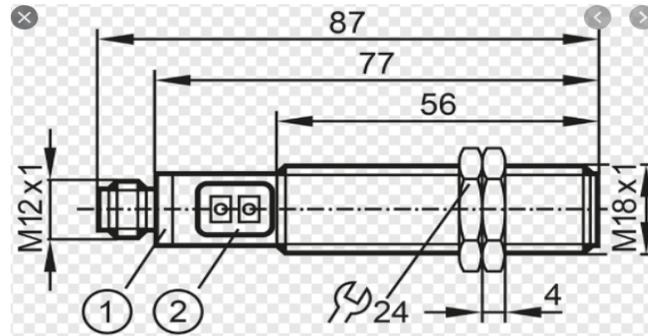
Figura 4-27. Sensor inductivo para medir RPM



Fuente: Autores

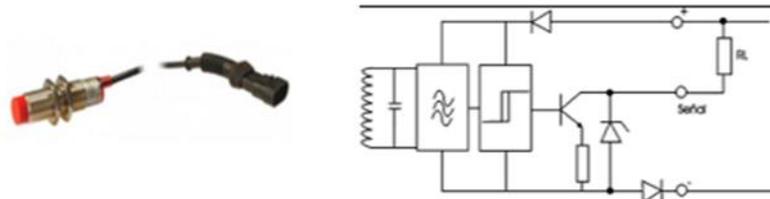
- **Sensor inductivo:** Es un dispositivo que detecta objeto metálico que se acercan sin tener contacto físico, de esta forma censa el paso con un perno del motor hidráulico, dientes de engranaje o estrías de toma de fuerza (DTF) y lo envía a una Interfax donde hay conexión entre máquina y hombre lo cual visualiza la velocidad o (RPM) (Cespedes, 2009).

Figura 4-28. Plano de sensor inductivo de RPM



Fuente: Autores

Figura 4-29. Sensor inductivo para medir RPM



Fuente: Autores

- **Característica del sensor inductivo**

Es un dispositivo que detecta objeto metálico que se acercan sin tener contacto físico, de esta forma censa el paso con un perno del motor hidráulico, dientes de engranaje o estrías de toma de fuerza (DTF) y lo envía a una Interfax donde hay conexión entre máquina y hombre lo cual visualiza la velocidad o (RPM) y se toma este dispositivo porque es el requerido para su trabajo que se requiere por diseño de sección de unidad de inyección, sujeta a cambios de sensor si se requiere en su momento por otros de más tecnología teniendo encuentra su funcionamiento en movimientos manuales y automáticos

- **Seccion de cilindro hidraulico de tobera.**

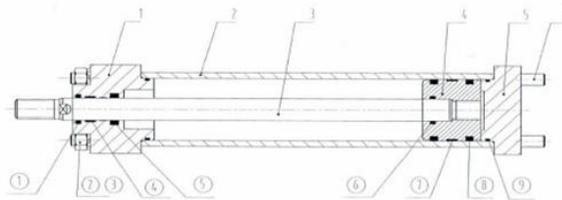
En este dispositivo hace la funcion del recorrido de la tobera y barril lo cual es el que mantiene la tobera unida al moldeo de piezas por inyeccion, en este proyecto se utilizara el mismo dispositivo no hay la necesidda de cambiarlo porque cumple las condiciones requeridas para este rediseño de la maquina FT 300 de la compañía Bolten Ltda

Figura 4-30. Actuador cilindro hidráulico de unidad de inyección



Fuente: Autores

Figura 4-31. Diagrama del cilindro unidad de inyección



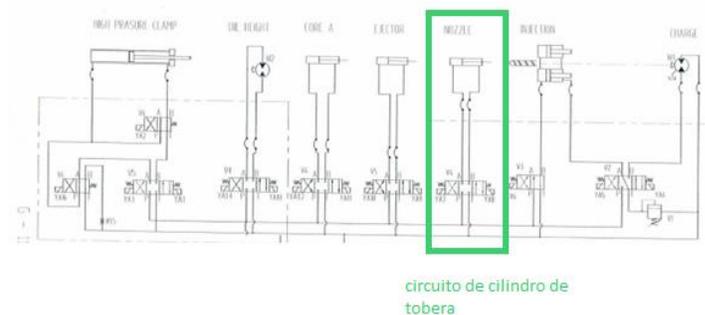
Fuente: (Bolten, 2020)

Tabla 4-6. Partes del cilindro de Barril (tobera)

9	Jis b 2401	Oring	G65	2		
8	Hallite	sello de aceite	H60160x70x6	2		
7	Nok	Uso de anillo	RYT 25x15	1		
6	Jis b2401	oring	g25		6	Tirante
5	Hallite	Sello de aceite	H605 35x45x6	1	5	Cubierta trasera
4	Nok	Uso de anillo	RYT 2x10	1	4	Pistón
3	GB93-87	Arandela de resorte	16	4	3	Vástago de embolo
2	GB614 0-86	tuerca	m16	4	2	Carro de cilindro
1	Hallite	Junta Antipolvo	h839 35x43x6	1	1	Cubierta de cabeza
NO	Estándar	Nombre	Modelo	calidad	N	Nombre

Fuente: (Bolten, 2020)

Figura 4-32. Circuito hidráulico de cilindro de barril o tobera



Fuente: (Bolten, 2020)

4.2 Determinación de los parámetros operativos y constructivos de la unidad de inyección para su repotenciación

4.2.1 Longitud del tornillo

El cálculo de la longitud de tornillo es el diámetro del tornillo por la relación L/D del tornillo lo cual se representaría así de la siguiente manera.

$$L = 38mm (22.1) = 839mm$$

$$L = 839mm$$

Cálculo de W:

Es el ancho del filo de la cuerda que el da en m o (in) se supone que el Ancho del filo de la cuerda es tan pequeño que es despreciable, la ecuacion quedaria asi.

$$W.C = \pi * D * \text{Tan}(A) * \text{Cos}(A) = \pi * D * \text{Sen}(A)$$

$$W.C = \pi * 38 * \text{Tan}(20) * \text{Cos}(20) = 40.8mm \approx 41$$

Cálculo de W con 42mm:

$$W.C = \pi * D * \text{Tan}(A) * \text{Cos}(A) = \pi * D * \text{Sen}(A)$$

$$W.C = \pi * 42 * \text{Tan}(20) * \text{Cos}(20) = 45\text{mm}$$

4.2.2 Calculo volumétrico (gasto volumétrico) de la unidad de inyección

Desarrollo con 38mm:

$$V = \pi * r^2 * L * \rho$$

Datos del tornillo de la unidad de inyección:

- ✓ Diámetro= 38mm
- ✓ Longitud de carga =190mm
- ✓ Densidad del PET. =1.34g/m³

$$\pi * 19^2\text{mm} * 190\text{mm} * \frac{1.34\text{g}}{\text{m}^3} = 288\text{g/m}^3$$

Capacidad volumétrica del barril es =288g/m³

Teniendo en cuenta los valores hallados se propone un nuevo tornillo como se mencionó anteriormente. Las características de dicho tornillo se muestran en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Características del tornillo y barril

INYECCION		FT 300
		B
Volumen de tiro	Cm ³	263
volumen (ps)	G Oz	239
Tasa de inyección máxima	Cm ³ /s	118
Diámetro de tornillo	Mm	42
Tasa de plastificación	Kg/h	60
Presión de inyección	Mpa	158
Relación L:D del tornillo		20.1
Velocidad de tornillo	r/min	0-180

Fuente: (Bolten, 2020)

En la Tabla 4-7 se especifican las características de la unidad de inyección la cual es la que se va a rediseñar o repotenciar de la inyectora FT 300 de la compañía Bolten Ltda. Se observan las características fundamentales del barril y tornillo escogido lo cual hay que hacer una conversión de la cantidad volumétrica del barril porque este dispositivo viene calculado de fábrica con resina (PS) como lo indica las características del barril y tornillo y hay que hacer la conversión a la resina PET para saber cuál es la cantidad volumétrica del barril a rediseñar o repotenciar esta conversión se hace con la siguiente formula.

$$V = \pi * r^2 * L * \rho$$

Datos:

- Diámetro de tornillo =42
- Longitud de carga= 200mm
- Densidad del Pet = 1.34g/m³

$$V = \pi * 21^2 * 200mm * 1.34 \frac{g}{m^3} = 371 \frac{g}{m^3}$$

Capacidad volumétrica del barril es 371g/m³

Se generó un aumento del 77% en la capacidad volumétrica del barril.

4.2.3 Cálculo de flujo contrapresión

Datos para 38mm:

- ✓ D=38
- ✓ RPM=3.rev/Seg
- ✓ d=6mm
- ✓ Angulo=20°
- ✓ Presión piezométrica=7X10⁶Pa
- ✓ Longitud del barril L=836mm
- ✓ Viscosidad del PET= 0.75

$$Q_x = Q_d - Q_h$$

$$Q_x = 0.5 * \pi^2 * D^2 * Nd * Sen(A) * Cos(A) - \frac{\rho * \pi * D * Sen A}{12nL}$$

$$Q_d = 0.5 * \pi^2 * (38 \times 10^{-3})^2 * (3)(6 \times 10^{-3}) * \text{Sen}(20) * \text{Cos}(20) = 4.12236(10^{-3})m^3/\text{seg}$$

$$Q_h = \frac{\pi(7 * 10^6)(38 * 10^{-3})(6 * 10^{-3})^3(\text{Sen}(20))^2}{12(0.75)(0.836)} = 2.8063 \times 10^{-3} m^3/\text{seg}$$

$$Q_x = Q_d - Q_h = 4.12236 - 2.8063 * (10^{-3}) = 1.31606(10^{-3}) = m^3/\text{seg}$$

Datos para 42mm:

- **Cálculo de flujo contra presión**

Datos:

- ✓ D=42
- ✓ RPM=3 rev/Seg (180/60)
- ✓ d=6mm
- ✓ Angulo=20°
- ✓ Presión piezométrica=7X10⁶Pa
- ✓ Longitud del barril L=928mm
- ✓ Viscosidad del PET= 0.75

$$Q_x = Q_d - Q_h$$

$$Q_x = 0.5 * \pi^2 * D^2 * Nd * \text{Sen}(A) * \text{Cos}(A) - \frac{\rho * \pi * D * \text{Sen} A}{12nL}$$

$$Q_d = 0.5\pi^2 * (42 \times 10^{-3})^2 * (3)(6 \times 10^{-3}) * \text{Sen}(20) * \text{Cos}(20) = 5.035914369(10^{-5})m^3/\text{seg}$$

$$Q_h = \frac{\pi(7 * 10^6)(42 * 10^{-3})(6 * 10^{-3})^3 \text{Sen}(20))^2}{12(0.75)(0.928)} = 2,794240853 \times 10^{-5} m^3/\text{seg}$$

$$Q_x = Q_d - Q_h = (5.035914369 - 2,794240853)(10^{-5}) = m^3/\text{seg} = 2,24167(10^{-5})$$

$$= m^3/\text{seg}$$

4.2.4 Calculo flujo máximo (Q_{max}).

$$Q_x = 0.5\pi^2 D^2 N d \text{ Sen } (A) \text{ Cos } (A)$$

$$Q_x = 0.5\pi^2 (38 \times 10^{-3})^2 (3) (6 \times 10^{-3}) \text{ Sen } (20) \text{ Cos } (20) = 4.12236 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Entonces con 42mm

$$Q_x = 0.5\pi^2 (42 \times 10^{-3})^2 (3) (6 \times 10^{-3}) \text{ Sen } (20) \text{ Cos } (20) = 5.036914 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Con el cambio del diámetro del tornillo obtenemos un valor mayor de flujo máximo con un porcentaje de aumento del 81%.

4.2.5 Cálculo de presión máxima

$$P_{max} = \frac{6\pi D \cdot N \cdot l \cot A}{d * 10^{-3}}$$

$$P_{max} = \frac{6\pi (38 * 10^{-3}) (0.836) (3) (100) \cot (20)}{(6 * 10^{-3})} = 39671.34 Pa$$

Con el rediseño del tornillo a 42mm tendríamos que:

$$P_{max} = \frac{6\pi \cdot (42 * 10^{-3}) (0.928) (3) (0.75) \cot (20)}{(6 * 10^{-3})^2} = 48672.56 Pa$$

4.3 Selección los componentes y elementos correctos como son sensores controladores y actuadores para su puesta en marcha

4.3.1 Rediseño de maquina en software.

El rediseño que se requiere de esta repotenciación se hace en el programa de SolidWorks. Para lo anterior se realizaron simulaciones de los componentes a reemplazar antes de empezar a intervenir la inyectora FT 300.

Figura 4-33. Unidad de inyección a rediseñar en software

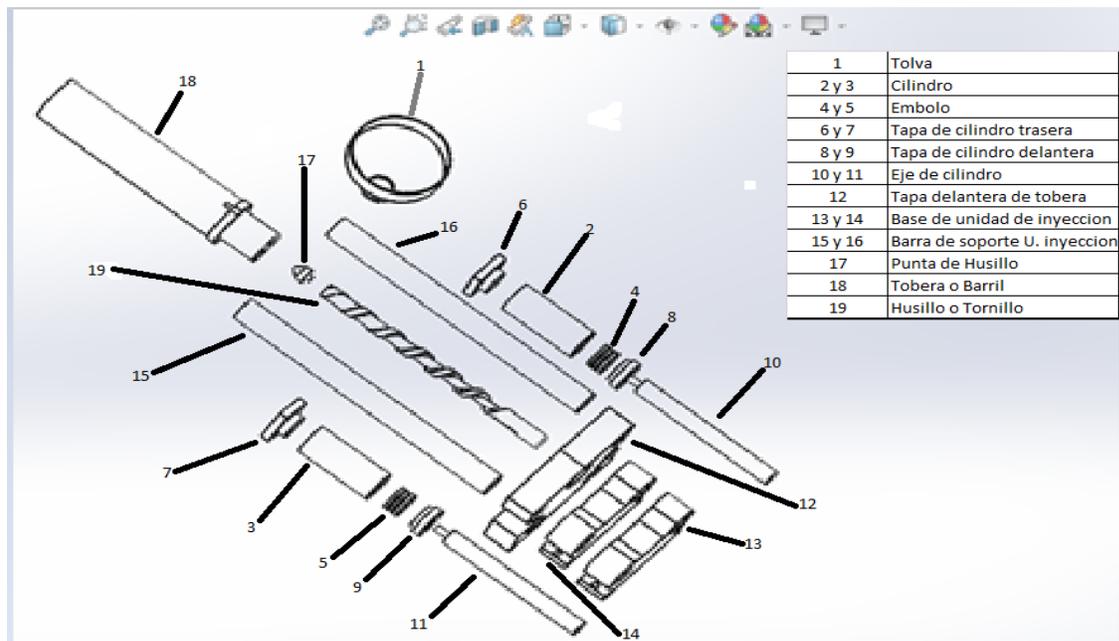


Fuente: Autores

En la Figura 4-33 observa la unidad de inyección de la máquina. Teniendo en cuenta los parámetros recolectados y los cálculos realizados se realizó la simulación en un SolidWorks® de los componentes antes mencionados. Sin embargo, se tuvo en cuenta la parte estructural de este dispositivo para que sea compatible y funcional en la maquina y así los resultados sean correctos y no se vean afectados por desaciertos estructurales.

En la Figura 4-34 se muestra la simulación de las partes de la unidad de inyección de la maquina inyectora, sin embargo, se resalta nuevamente que no colocan dimensiones debido a las restricciones presentadas por la empresa. En la imagen se observa el despiece de dicha unidad para entender como está compuesta y así seleccionar minuciosamente las partes a repotenciar.

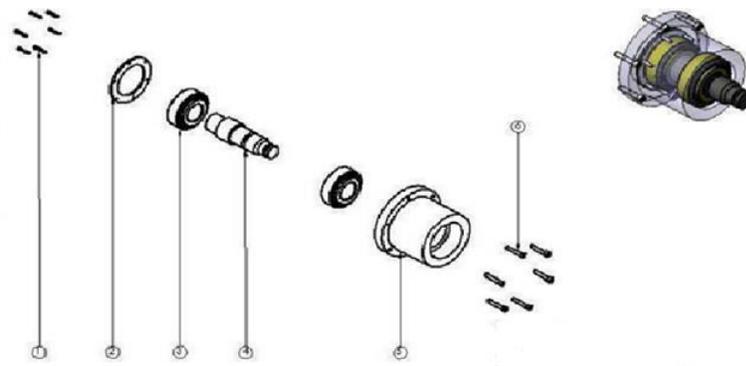
Figura 4-34. Simulación de las partes de la unidad de inyección



Fuentes: Autores

En la Figura 4-35 se muestra la caja de rodamientos simulada en el software SolidWorks®. Esta se rediseño ya que los rodamientos se encontraban en mal estado y debido que no se accede a estos repuestos de manera fácil (no hay en el mercado) se simuló esta caja de para reemplazar los rodamientos por los más cercanos encontrados en el mercado.

Figura 4-35. Caja de rodamientos entre barril y motor hidráulico



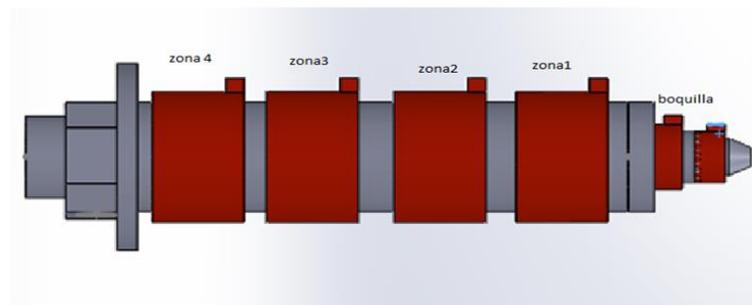
Fuente: (Bolten, 2020)

Este dispositivo es el que une la parte del barril que está conformado por husillo o tornillo y el motor hidráulico que es la que le da la potencia de movimiento al dispositivo

4.3.2 Desmonte de unidad a diseñar

En este punto se iniciarán los trabajos de desmontar de la unidad de inyección motor hidráulico, bomba hidráulica, las resistencias y termocupla; todos estos accesorios son los que se remplazan por nuevos o similares dependiendo el estado. En primera instancia se interviene la máquina FT300 con el objeto de iniciar el desmontaje del sistema de calentamiento del barril conformado por grupos de resistencias y de termopares que controlan las resistencias. Estas resistencias se remplazarán por otras resistencias nueva de igual forma también se remplazarán los termopares.

Figura 4-36. Ubicación de resistencias



Fuente: Autores

Figura 4-37. Termocuplas de la maquina FT300

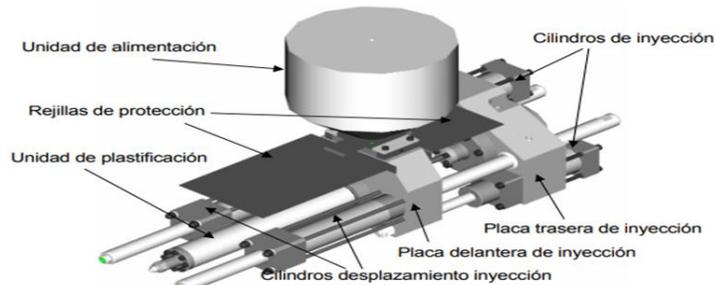


Fuente: (Bolten, 2020)

4.3.3 Desmontaje de motor hidráulico, barril y tornillo

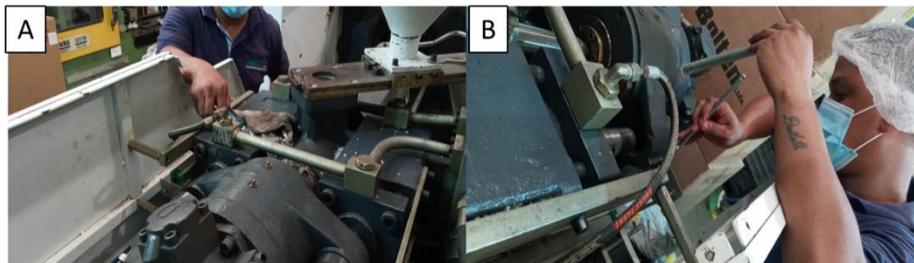
En este punto ya se empieza a el desarme de la unidad de inyección de la maquina FT300, se empieza al desmontaje del motor hidráulico para poder hacer le desmontaje del barril y tornillo de la unidad de inyección que son las piezas clave del rediseño de la inyectora.

Figura 4-38. Partes de la unidad de inyección



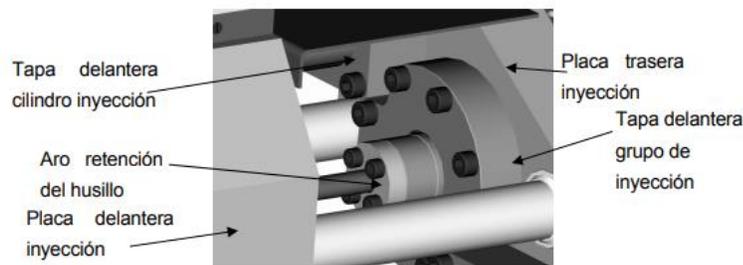
Fuente: (Groover, 2007)

Figura 4-39. (A) Evidencia del desmontaje de unidad de inyección y (B) evidencia del desmontaje de motor hidráulico



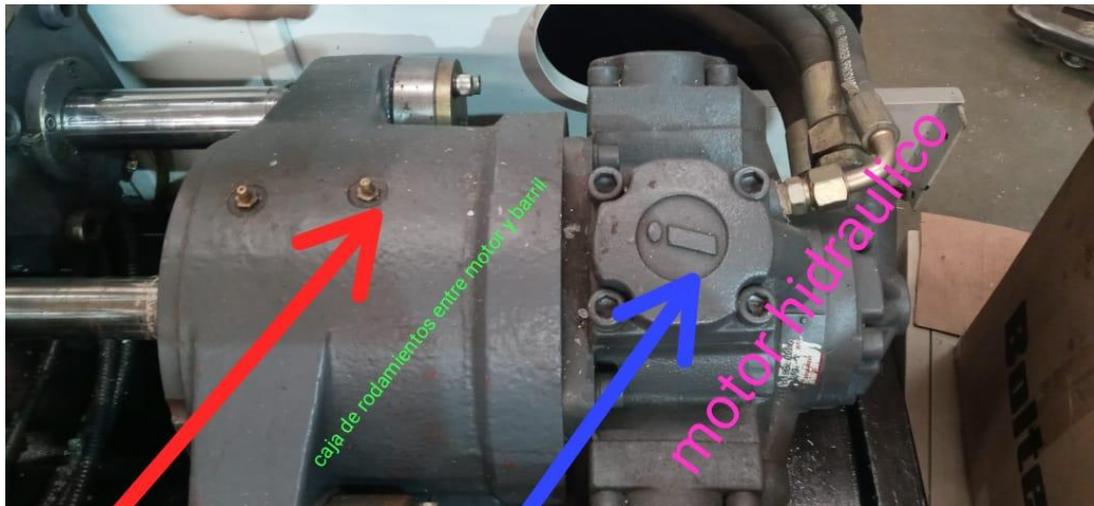
Fuente: Autores

Figura 4-40. Tapa trasera y unión de tornillo o husillo



Fuente: (Groover, 2007)

Figura 4-41. Motor hidráulico y caja de rodamientos a desmontar



Fuente: (Bolten, 2020)

4.3.4 Desmontaje de bomba y mangueras hidráulicas

Posteriormente se procederá a realizar el desmontaje de la bomba y mangueras hidráulicas de la maquina inyectora FT300. La Figura 4-42 y la Figura 4-43 evidencian dicho desmontaje.

Figura 4-42. Desmontaje de bomba hidráulica y motor eléctrico



Fuente: (Bolten, 2020)

En la Figura 4-42 se evidencia el procedimiento de desmontaje del motor eléctrico y la bomba hidráulica para empezar a ser su rediseño de la maquina Ft 300 de la compañía Bolten Ltda.

Figura 4-43. Desmontaje de las mangueras hidráulicas



Fuente: (Bolten, 2020)

En la Figura 4-43 esta se evidencia y se señala las mangueras hidráulicas del sistema de la unidad de inyección a rediseñar. En este circuito se usan mangueras de $\frac{3}{4}$ y 1" de pulgada de diámetro con una presión de 2000 a 3500 psi. Se realizó una trazabilidad de estas mangueras donde se determinó que no existe la necesidad de sustituirlas.

4.3.5 Reensamble de los dispositivos a reemplazar

Inicialmente se reemplazó la resistencia de abrazadera o banda. Las características de las resistencias reemplazadas se evidencian en la Tabla 4-8

Proveedor de resistencia **Electro Salgado SAS**

- Resistencia de Boquilla
- Resistencia de zona 1
- Resistencia de zona 2,3 y 4

Tabla 4-8. Características de las resistencias

RESISTENCIA	VOLTAJE (V)	DIMENSIONES (mm)	WATTS (W)
Resistencia de boquilla	220	Φ 40 X 50	700

Zona 1	220	$\Phi 70 \times 80$	700
Zona 2,3 y 4	220	$\Phi 118 \times 90$	220

Fuente: Autores

En la Figura 4-44 se observa la resistencia seleccionada para el reensamble en la inyectora FT300.

Figura 4-44. Resistencia de abrazadera o de banda seleccionada



Fuente: (Bolten, 2020)

En segundo lugar, se realizó el reensamble de los termopares, los cuales en este caso era unos tipos K (tecnología antigua) por otros tipo K los cuales presentan mejor comportamiento respecto a la máquina. Dichos termopares son fabricados con cable de platino, son resistencias más costosas, pero con mayor precisión a bajas y altas temperaturas. A continuación, se presenta el proveedor y las características del termopar.

Proveedor: **Electro salgado sas**

- PT 100
- 100 OHMS a mayor temperatura
- Longitud DE 2 Metros
- Rango de temperaturas de (-180 a 1200 °C)

Figura 4-45. Termopar tipo K implementado en la inyectora



Fuente: (Bolten, 2020)

En tercer lugar, se muestra el sensor inductivo el cual no se reemplazó ya que el que se encuentra de fabrica cuenta con las características necesarias para cumplir con la funcionalidad de la máquina.

Tabla 4-9. Característica del sensor actual

CARACTERISTICAS	
DATOS TÉCNICOS	
Peso	0,240kg
Dimensiones	6x2x2(largoXanchoXalto)
Cable	5 metros
Material	Metal
Distancia de detección	2-8 mm
led	indicador de lectura

Tabla 4-10. Sensor inductivo

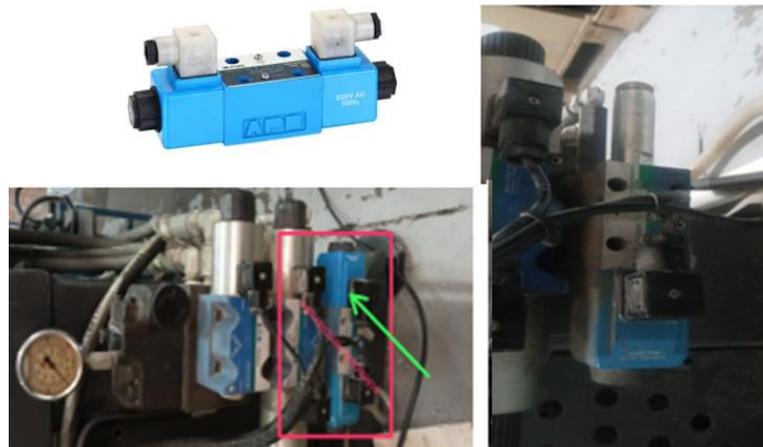


Fuente: (Bolten, 2020)

En cuarto lugar, tenemos la válvula hidráulica marca Vickers. Esta válvula amerita reemplazo no por la tecnología sino por lo funciona, es decir, se encuentra en mal estado y no brinda la función necesaria para la repotenciación de la máquina. Las características de las válvulas se muestran a continuación:

- DG 4v-6c
- M-U-H7-60
- 24 voltios
- Actuador manual
- Tipo; Accionamiento piloto
- Material hierro fundido
- Estructura de válvula; de pistón
- Forma de conexión: Roscado
- Suministrado: **Vulcamec S.A**

Figura 4-46. Válvula hidráulica



Fuente: (Bolten, 2020)

4.4 Análisis de los resultados experimentales en cada prueba y corroborar el funcionamiento de la máquina y cada uno de sus elementos, sensores, actuadores y controladores.

El análisis de los resultados se realiza ya habiendo realizado el reensamble de los diferentes componentes de la inyectora. De manera inicial se realizó la verificación de la presión de la máquina, en segundo lugar, la verificación de la temperatura de tobera y los ajustes después de la verificación. Posterior a lo anterior, se realiza la calibración y las pruebas manuales, verificación del sistema automático, los resultados por posición y las pruebas en modo automático.

4.4.1 Verificación de presión de máquina

La verificación de presión se realizó teniendo en cuenta que no hubo reemplazo de los equipos que se encargan de regular la presión en el sistema como lo son el motor y la válvula hidráulica. En la Figura 4-47, Figura 4-48, Figura 4-49,

Figura 4-50 se observan los procesos de medición de dicha presión que son en el sistema hidráulico, manómetro de presión, presión de inyección y presión de carga.

Figura 4-47. Verificación de presión del sistema hidráulico



Fuente: (Bolten, 2020)

Figura 4-48. Manómetro de presión del sistema hidráulico



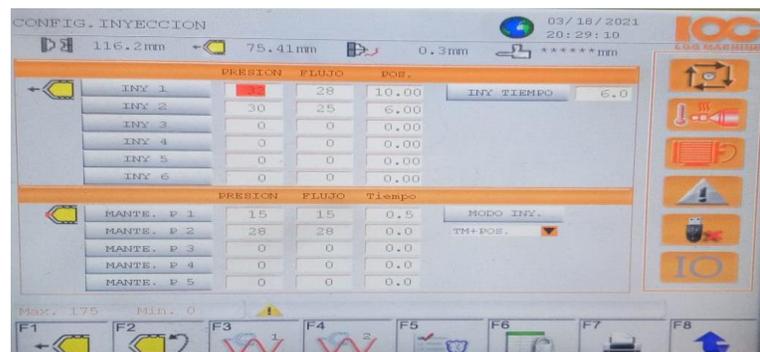
Fuente: (Bolten, 2020)

Tabla 4-11. Verificación de movimiento y presión

Dispositivo	Presión	Velocidad	Presión
Tobera	50		450Psi
Carga	90	65	950Psi
Inyección	32	28	800Psi
Rechufe	25	25	150Psi
Contrapresión	15		200Psi
RPM			950Psi

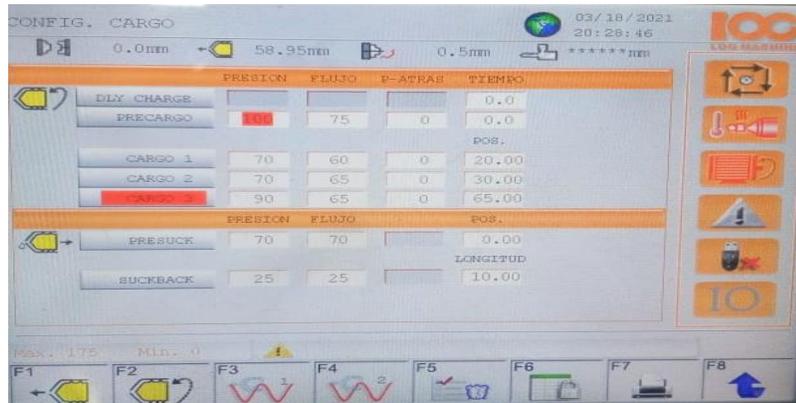
Fuente: Autores

Figura 4-49. Verificación de presión de inyección



Fuente: Autores

Figura 4-50. Verificación de presión de carga



Fuente: Autores

En la verificación de la presión no se evidencio una fluctuación en los niveles de presión debido a que no se realizó ningún cambio en estructural en el motor ni la válvula hidráulica. Sin embargo, se realizó un mantenimiento general de dichas partes de la unidad de inyección para así obtener un funcionamiento correcto.

4.4.2 Verificación de temperatura de tobera

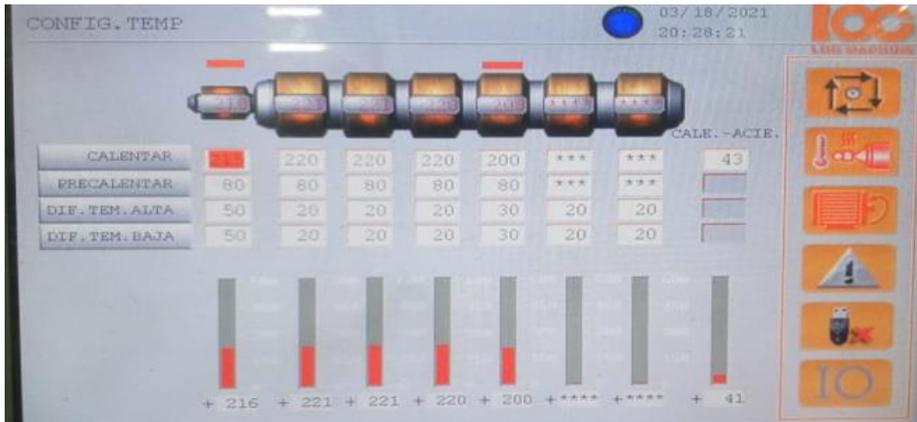
La verificación de la temperatura se hizo teniendo en cuenta que se realizó el cambio de los termopares anteriores que eran de tecnología antigua por unos modernos, Cabe resaltar que los termopares siguieron siendo los tipo K.

Tabla 4-12. Verificación de temperatura de tobera

Zona	T, seteada	T, real	observación
Boquilla	215°C +- 50	216°C	normal
Zona 1	220°C +-20	221°C	normal
Zona 2	220°C +-20	220°C	normal
Zona 3	220°C +-20	220°C	normal
Zona 4	200°C +-20	209°C	normal

Fuente: Autores

Figura 4-51. Verificación y prueba de temperatura



Fuente: Autores

En este componente se realizó el cambio de la resistencia para aumentar su potencia. Dicho lo anterior no se evidenció un aumento en la temperatura sino un aumento en la velocidad de calentamiento o rata de calentamiento. Los valores de calentamiento se muestran en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13. Comparativa de las temperaturas antes y después de la repotenciación

Calentamiento de la tobera	Tiempo verificado en prueba
Calentamiento antes del rediseño (270-290°C)	40-45min
Calentamiento después del rediseño (270-290°C)	30-35min

Como se muestra en la tabla anterior la reducción en el tiempo de calentamiento es importante para el aumento de la eficiencia de la maquina inyectora. Esta eficiencia en el tiempo de calentamiento fue del 76%.

4.4.3 Ajuste y prueba final

Los ajustes y pruebas finales se realizaron teniendo en cuenta la longitud de carga del tornillo a diferentes medidas de funcionamiento: 100mm, 130mm y 170mm. Una vez realizada la calibración de la maquina en lo referente al espesor del molde y la temperatura de fusión (250-300°C) se realizó pruebas de inyección para la fabricación de preformas. La variable regulada en cada prueba corresponde al volumen de material inyectado, el cual es

posible variar modificando la posición de fin de plastificación ubicado en el transcurso de recorrido del pistón de inyección. Como primer paso se manipula la máquina de modo manual, comprobando sus funciones y verificando una serie de ciclos manuales con diferentes parámetros en el sistema de la unidad de inyección.

Inicialmente en la prueba realizada a 100mm presentó un defecto fundamental e incorregible que era las preformas completas por lo cual no se siguió experimentando con dicha métrica. La Figura 4-52 y la Figura 4-53 muestra la ejecución de la prueba y el resultado de esta a 100mm.

Figura 4-52. Pruebas volumétricas 1 a100mm



Fuente: Autores

Figura 4-53. Evidencia de capacidad volumétrica a 100mm



Fuente: Autores

Cuando se inyecta a 130mm se evidenció que con esta longitud de carga se mostraba una inyección óptima y libre de defectos con lo cual se validó la mejora realizada en la máquina

inyectora. En la Figura 4-54 y la Figura 4-55 se evidencia la ejecución en tiempo real de la prueba y su resultado libre de defecto.

Figura 4-54. Prueba Volumétrica 2 a 130mm



Fuente: Autores

Figura 4-55. Evidencia de capacidad volumétrica a 130mm



Fuente: Autores

Finalmente, para la prueba número 3 se escogió un aumento de la longitud de carga del tornillo para verificar si a partir de 130mm se podría inyectar a mayor distancia, por ejemplo, 170mm.

En la Figura 4-56 y Figura 4-57 la se evidenció que cuando se inyectaron a 170mm salieron muestras con múltiples defectos tales como:

- Rebaba
- Reinyección
- Gota de material
- Algunas preformas descentradas.

Figura 4-56. Prueba Volumétrica 3 a 170mm



Fuente: Autores

Figura 4-57. Evidencia de capacidad volumétrica a 170mm



Fuente: Autores

Lo anterior nos ayudó a descartar los valores de 100mm y 170mm debido a sus múltiples defectos a la hora realizar el proceso de inyección. Finalmente nos ayudó también a

evidenciar que la longitud de carga ideal era la de 130mm con la cual se obtuvieron muestras libres de defectos y la maquina presentó un buen comportamiento.

Figura 4-58. Recorrido de pistón en carga en modo manual



Fuente: Autores

4.4.4 Sistema automático

En este segmento los resultados y ajustes de piezas a los valores y parametrización específicos de máquina se hicieron de forma automático. En la Tabla 4-14 y la Figura 4-59 se evidenciaron los valores por posición de carga de 100mm donde se obtuvo que para 5 ciclos no hubo ninguna prueba con exceso de material.

Tabla 4-14. Resultado de posición de carga a 100mm

Ciclo	% Piezas completas	% Exceso de material
1	70	0
2	75	0
3	80	0
4	80	0
5	80	0

Fuente: Autores

Figura 4-59. Prueba 1 a 100mm



Fuente: Autores

En la Tabla 4-15 y la Figura 4-60 se evidenció que solo en uno de los ciclos se presentó un exceso de material cercano al 3% el cual es despreciable en términos de inyección.

Tabla 4-15. Resultados de posición de carga a 130mm

Ciclo	% Piezas completas	%Exceso de material
1	100	3
2	100	0
3	100	0
4	100	0
5	100	0

Fuente: Autores

Figura 4-60. Prueba 3 a 130mm



Fuente: Autores

En la Tabla 4-16 y la Figura 4-61 se evidenció el resultado por posición de carga a 170mm donde se evidenciaron valores de exceso de material que iban del 15% al 18% los cuales son descartables para pruebas próximas.

Tabla 4-16. Resultado de posición de carga a 170mm

Ciclo	% Piezas completas	%Exceso de material
1	100	15
2	100	18
3	100	18
4	100	18
5	100	18

Fuente: Autores

Figura 4-61. Prueba 2 a 170mm



Fuente: Autores

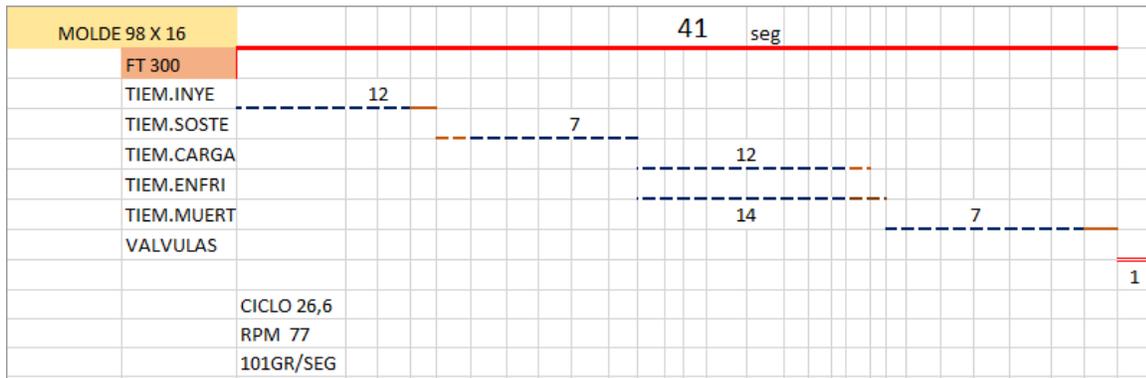
Los resultados obtenidos con un volumen menor de material inyectado a una posición de carga de 100mm y 170mm presentan que las piezas son incompletas, rosca falla y terminado incompleto y sin señal de exceso de material o rebabas. Por otra parte, con el sensor a posición de 170mm, se obtiene piezas completas, pero con presencia de exceso de material en el terminado de las roscas y cierre de la rosca.

Finalmente se fija la posición de carga a 130mm, y se obtiene piezas de muy buena calidad a partir de un tiempo de terminado no más de 3 ciclos estas piezas se observan completas óptimas y sin presencia de rebaba o exceso.

4.4.5 Pruebas y resultados en modo automático

Establecidos ya los niveles de operación en cuanto a volumen de material (130mm) y temperatura, y ejecutando una serie de ciclos en modo manual, se configura los tiempos del proceso para modo automático. Los tiempos de cierre, de descompresión, de enfriamiento y de inyección son fijados en función de materia prima empleada en relación con la dimensión de las piezas. En resumen, es conveniente partir de los valores recomendados, cálculos de los manuales, información bibliográfica y ajustes manuales de manera empírica con mediciones y verificación de resultados de variables de las preformas elaboradas en material PET realizar dichas pruebas debido a su aumento en la eficiencia. Esta eficiencia se observa en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17. Ciclo de maquina



Fuente: Autores

Con estos parámetros fijados se procede a los cambios a modo automáticos, obteniendo un lote de piezas en diferentes tiempos de ciclo, los resultados se muestran en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18. Extracción de resultados modo automáticos

EXTRACCIÓN DE RESULTADOS			
MUESTRA	LOTE	TIEMPO DE PROCESO[S]	CUMPLIMIENTO [100%]
1	1	43	100%
2	1	41	100%
3	1	41	100%
4	1	39	100%
5	1	41	100%
6	1	42	100%
7	1	42	100%
8	1	42	100%
9	1	40	100%
10	1	40	100%
11	1	41	100%
12	1	41	100%
13	1	40	100%
14	1	42	100%
15	1	42	100%
16	1	42	100%
17	1	41	100%
18	1	42	100%
19	1	42	100%
20	1	41	100%

Fuente: Autores

De los resultados se puede observar que de los 20 ciclos o muestras obtenidas todas están al 100% completas los tiempos de ciclos oscilan entre 40 a 43 segundos lo que equivale 22 pieza por minuto.

Tabla 4-19. Resultado modo automático

MUESTRA	LOTE	FOTO DE MUESTRA
0	1	
1	1	
2	1	
3	1	

Continuación de la Tabla 4-19.

4	1	
5	1	
6	1	
7	1	

Continuación de la Tabla 4-19.

8	1	
9	1	
10	1	
11	1	

Continuación de la Tabla 4-19.

<p>12</p>	<p>1</p>	
<p>13</p>	<p>1</p>	
<p>14</p>	<p>1</p>	
<p>15</p>	<p>1</p>	
<p>16</p>	<p>1</p>	

Continuación de la Tabla 4-19.

17	1	
18	1	
19	1	
20	1	

En la Tabla 4-19 se observaron todos los resultados propuestos anteriormente para las pruebas experimentales en modo automático. Se evidencia en cada una de las muestras que se cumplió a cabalidad que las muestras salieron 100% completas y que los tiempos

de dichos ciclos oscilan entre 40 a 43 segundos lo que equivale 22 pieza por minuto. Finalmente, se evidenció un aumento en la eficiencia de la producción de las piezas en un 70%-80% por lo cual se logró la repotenciación superior al 33% como se propuso en la pregunta problema como ítem a resolver.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Con respecto a la repotenciación de la inyectora y a la posibilidad de una serie de mejora respecto al cambio la unidad de inyección, la maquina FT300 y tiene una mayor capacidad volumétrica y permite ser más eficiente en el proceso y por lo cual la gerencia de la compañía Bolten Ltda. quedaron satisfecho con el proyecto realizado.
- La compañía BOLTEN LTDA según las estadísticas la maquina mejor a un 45% ya que anterior mente tenía una eficiencia en productividad al 70%, mientras que con relación a sus condiciones de operación a su limitación de capacidad volumétrica mejoro a un 80% y redujo un tiempo por ciclo 1,2seg.
- Se realizan pruebas de funcionamiento de sensores pruebas volumétricas de la unidad de inyección cambios de válvulas hidráulicas, pruebas del sistema hidráulico y eléctrico de calentamiento de resistencia de tobera
- Se logró rediseñar y repotenciar la inyectora FT 300 de la compañía BOLTEN LTDA. Mediante al remplazo de la unidad de inyección con limitaciones de capacidad volumétrica por una unidad de más capacidad volumétrica
- Se realizaron pruebas y resultados de la funcionalidad de, los dispositivos colocados en la inyectora FT 300 y verificar su funcionamiento operativo
- Se documentó en planos manuales programas y software el, proceso de rediseño y repotenciación de la maquina FT300 de la compañía BOLTEN LTDA.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un manual de instrucciones para que el personal operativo de la maquina optimice el proceso dependiendo el tipo de trabajo a realizar.
- Realizar periódicamente los mantenimientos de la inyectora FT300 para conservar su funcionamiento y sus componentes de la inyectora FT 300.
- Verificación de la inyectora durante al proceso funcionamiento la tolva de material se conserve llena para que la inyectora se mantenga en un buen ritmo y operación continua.
- Durante en el proceso de arranque de maquina deben tener precaución en este proceso para evitar quemaduras y evitar contacto con las partes móviles de la máquina y partes de calentamiento y voltaje para evitar accidente.
- Implementar procesos de arranque de maquina en semi- automático que permita sum calibración de manera más veraz.

6. Bibliografía

- Aguirre, C., & Proaño, J. (2018). *Desarrollo de un sistema de automatización para una inyectora de plástico MIR 65 en la empresa INSOPLASTIC*. 2018: Universidad Politécnica Salesiana.
- Básica, electrónica. (9 de Mayo de 2016). *Blog de electronica básica*. Obtenido de Tutoriales de electronica básica: <http://tutorialesdeelectronicaBasica.blogspot.com/>
- Bolten, L. (2020). *Planos empresariales y de conocimiento privado*. Barranquilla: Bolten Ltda.
- Céspedes, L. (2009). *Análisis RCM de la inyectora Reed H29 perteneciente a la empresa Industrias Estra S.A. Medellín*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mexico DF: McGraw-Hill.
- Guaman, R. (2017). *Repotenciación del sistema eléctrico y electrónico de una máquina inyectora de plástico Van Dorn modelo 150-RS-8F para la empresa tecnitroquel S.A. Sangolquí*: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Holman, J.-P. (1999). *Transferencia de calor*. Mexico : Compañía editorial continental S.A. de C.V. Mexico .
- Jacome, F., & Villacís, H. (2014). *Diseño e implementación de un sistema automático para la repotenciación de una máquina inyectora de plástico marca BJC en la empresa ISISTEM*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Keyence. (12 de enero de 2021). *¿Qué es el moldeo por inyección?* Obtenido de <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/machining/injection-molding/about.jsp>

- Leonardo. (01 de 03 de 2012). *Características del PET (Poli Etiléno Tereftalato)*. Obtenido de <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/caracter-sticas-del-pet-poli-etil-no-tereftalato>
- Lerma, J. (2018). *Manual Avanzado de Inyección de Termoplástico*. Hamburg: Biesterfeld competence in solutions. Obtenido de <https://www.ieaula.com/home/31-procesos-avanzados-de-inyeccion-de-termoplasticos.html>
- Montilla, E. (2006). *Diseño y evaluación de moldes para inyección de plásticos utilizando materiales de uso comun combinados con resinas epoxicas*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Parker. (14 de Diciembre de 2020). *Alcanza el punto máximo de productividad de tu máquina de inyección de plásticos con soluciones integrales Parker*. Obtenido de Sistema de inyección: <http://solutions.parker.com/injectionmolding-inyeccion>
- Paya, H. (2012). *Reingeniería a una prensa hidráulica de Construmecam, para mejorar la eficiencia de su producción*. Santiago de Cali: universidad Autónoma de Occidente.
- Protolabs Manufacturind Accelerated. (24 de Febrero de 2021). *Moldeo por Inyección de Plásticos*. Obtenido de <https://www.protolabs.es/servicios/moldeo-por-inyeccion/moldeo-por-inyeccion-de-plasticos/>
- Sanchez, H. (2001). *Calculo y diseño del sistema hidráulico para una maquina inyectora de plástico de 100 grs. de capacidad de inyección por ciclo*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Smith, W. (2005). *Fundamento de la ciencia e ingeniería de materiales*. Madrid: McGraw Hill.
- Textoscientificos.com. (04 de 09 de 2005). Obtenido de Textos científicos : <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>
- Vicente, J., & López, J. (2006). *Diseño de una máquina para la fabricación de productos de gran volumen en polipropileno reciclado*. Medellín : Universidad EAFIT.

