



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y
ELECTRÓNICO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE
PLÁSTICO VAN DORN MODELO 150-RS-8F PARA LA
EMPRESA TECNITROQUEL S.A.**

AUTOR: GUAMÁN LEIME, RICHARD EDUARDO

DIRECTOR: ING. TIPÁN CONDOLO, EDGAR FERNANDO

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: “**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO VAN DORN MODELO 150-RS-8F PARA LA EMPRESA TECNITROQUEL S.A.**”, realizado por el señor **GUAMÁN LEIME RICHARD EDUARDO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **GUAMÁN LEIME RICHARD EDUARDO** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 09 de febrero del 2017

Ing. Tipán Condolo Edgar Fernando
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **GUAMÁN LEIME RICHARD EDUARDO**, con cédula de identidad N°:1716236813, declaro que este trabajo de titulación “**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO VAN DORN MODELO 150-RS-8F PARA LA EMPRESA TECNITROQUEL S.A.**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 09 de febrero del 2017

Guamán Leime Richard Eduardo
C.C. 1716236813



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **GUAMÁN LEIME RICHARD EDUARDO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO VAN DORN MODELO 150-RS-8F PARA LA EMPRESA TECNITROQUEL S.A.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 09 de febrero del 2017

Guamán Leime Richard Eduardo
C.C. 1716236813

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a toda mi familia, por su amor y apoyo incondicional en este camino recorrido durante todas las etapas de mi vida, ya que juntos hemos salido de dificultades y hemos aprendido a disfrutar cada uno de los logros conseguidos, gracias a ustedes soy la persona que soy.

A mi padre Eduardo, por ser mi amigo, modelo a seguir y mi ejemplo de tenacidad, aun cuando la dificultad parecía sobrepasar a la solución; por ser un siervo de Dios en todos los aspectos de su vida.

A mi madre Susana, por ser la mujer que con su amor supo guiarme y soportarme siempre con una sonrisa, por su paciencia, firmeza y ejemplo, por sus ganas de vivir demostrado en los momentos más difíciles.

A mi esposa Carmen y mi hija María Paula, por su esfuerzo y sacrificio junto a mí, por ser la fuente más pura de inspiración para cada día ser mejor persona en todo ámbito.

A mis hermanos Santiago, Samuel y Priscila, por su admiración, por ser esa fuerza que siempre necesito y ese apoyo que revitaliza todo en lo físico y personal.

A Laura, Rosario, Diego y Dayana, por su apoyo y aliento aun cuando las fuerzas parecían faltar.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por el regalo más preciado, la vida y por derramar su amor cada día sobre mí y mi familia.

A mi familia, por ser el motor que me impulso siempre hacia adelante, por guiar mis pasos, por ser esa voz amiga pero firme que corrigió mis errores con amor, por ser todos unos siervos de Dios y enseñarme a depender de él en todo momento.

A mi esposa Carmen, por ser la mujer perfecta que necesito en mi vida, por ser ese hombro en momentos difíciles, por entender cuando tuve que sacrificar tiempo de familia por los estudios, por ser mi compañera perfecta en momentos de alegría y por darme lo más lindo que tengo en la tierra a mi hija María Paula.

A todos mis amigos, que siempre me extendieron la mano y estuvieron a mi lado en los momentos buenos y malos de la vida, siempre les llevo en el corazón porque son gente que enriquece mi vida de muchas maneras.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, a cada uno de los docentes que impartieron sus conocimientos y sabiduría a lo largo de mi formación estudiantil y además supieron aportar a mi formación como ser humano de bien, en especial mi profundo agradecimiento al Ing. Edgar Tipán, quien supo guiarme con paciencia, mano firme y brindarme todo el contingente de conocimientos necesarios para la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
C A P Í T U L O 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del problema.....	2
1.3. Justificación e importancia	2
1.4. Viabilidad del proyecto	4
1.5. Alcance del proyecto.	5
1.6. Objetivos	6
1.6.1. Objetivo general	6
1.6.2. Objetivos específicos.....	7
C A P Í T U L O 2.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Los plásticos.....	8
2.1.1. Introducción.....	8
2.1.2. Definición	8
2.1.3. Propiedades y comportamiento de los plásticos	9
2.1.4. Clasificación de los plásticos	10
2.1.5. Procesamiento de los plásticos	11
2.1.6. Descripción de los principales tipos de plásticos	12
2.1.7. Plásticos para procesado por inyección.....	17
2.2. Máquinas inyectoras de plástico.....	23
2.2.1. Componentes de una máquina inyectora	24

2.2.2.	Tipos de máquinas de inyección.....	35
2.2.3.	Características principales de una máquina de inyección.....	36
2.3.	Proceso de moldeo por inyección.....	40
2.3.1.	Inyectora con tornillo alternativo	41
2.3.2.	Zona de alimentación	43
2.3.3.	Ciclo de inyección.....	48
C A P Í T U L O 3		54
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL		54
3.1.	Estado de la máquina Van Dorn previo a la repotenciación	54
3.1.1.	Características generales de la máquina.....	54
3.1.2.	Estado mecánico e hidráulico máquina de inyección	56
3.1.3.	Estado eléctrico máquina de inyección.....	67
3.2.	Definición del objetivo de diseño	77
3.3.	Análisis de variables del proceso	78
3.3.1.	Temperatura del cilindro	78
3.3.2.	Presión de cierre de molde.....	79
3.3.3.	Tiempo de plastificación	79
3.3.4.	Tiempo de inyección.....	79
3.3.5.	Tiempo de sostenimiento.....	79
3.3.6.	Tiempo de enfriamiento	80
3.3.7.	Tiempo de descompresión	80
3.4.	Análisis de sensores y actuadores de la máquina.....	81
3.4.1.	Sensores temperatura	81
3.4.2.	Sensores fines de carrera.....	82
3.4.3.	Pre-actuadores solenoides	83
3.4.4.	Actuadores	84
3.5.	Diseño de control de temperatura	85
3.6.	Selección del controlador lógico programable (PLC).....	87
3.7.	Diseño de interfaz humano máquina	95
3.8.	Diseño de algoritmo de control.....	99
C A P Í T U L O 4		101
IMPLEMENTACIÓN.....		101
4.1.	Controles de temperatura	101
4.2.	Distribución de Dispositivos.....	103

4.2.1.	Sección o unidad de inyección	103
4.2.2.	Sección o unidad de cierre	104
4.2.3.	Sección o unidad de control	105
4.3.	Distribución de cableado	110
4.4.	Calibración del proceso de inyección	112
C A P Í T U L O 5.....		113
PRUEBAS Y RESULTADOS		113
5.1.	Pruebas y calibración en modo manual.....	113
5.2.	Resultados en modo manual.....	113
5.3.	Pruebas y resultados en modo automático	118
C A P Í T U L O 6.....		127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		127
6.1.	Conclusiones.....	127
6.2.	Recomendaciones.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....		129
ANEXOS.....		130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Efecto de las ramificaciones en las propiedades del polietileno.	18
Tabla 2 Propiedades de plásticos cristalinos y amorfos.	19
Tabla 3 Tg y Tm de principales polímeros.	20
Tabla 4 Efecto del aumento de peso molecular en polímeros.	23
Tabla 5 Características generales de máquina Van Dorn.....	55
Tabla 6 Estado mecánico general de la máquina.	56
Tabla 7 Estado válvula y actuador involucrados en mecanismo para giro de tornillo.....	59
Tabla 8 Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de inyección.	60
Tabla 9 Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de apertura y cierre de molde.	62
Tabla 10 Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de entrada y salida de expulsor.	64
Tabla 11 Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo para ajuste de tamaño de molde.....	65
Tabla 12 Componentes de protección y auxiliares eléctricos de la máquina.	67
Tabla 13 Estado de componentes de protección y auxiliares eléctricos de la máquina.....	68
Tabla 14 Estado del cableado de la máquina.	69
Tabla 15 Características de resistencias calefactoras.	70
Tabla 16 Controladores electrónicos de la máquina.	72
Tabla 17 Estado de controladores de la máquina.....	73
Tabla 18 Estado de componentes eléctricos en panel principal.	74
Tabla 19 Estado y ubicación de sensores fines de carrera.....	75
Tabla 20 Características de termocuplas instaladas.....	76
Tabla 21 Estado de termocuplas instaladas.	77
Tabla 22 Sensores fin de carrera.....	82
Tabla 23 Solenoides.	83

Tabla 24 Descripción actuadores.....	84
Tabla 25 Características controladores de temperatura de remplazo.....	86
Tabla 26 Características generales PLC Siemens S7-1200.	88
Tabla 27 Características generales módulo entradas/salidas Siemens.....	89
Tabla 28 Características relés de estado sólido LYCA12Y.....	90
Tabla 29 Asignación de entradas y salidas del PLC a variables del proceso.	90
Tabla 30 Características generales fuente de poder Siemens 24VDC.	92
Tabla 31 Características de los breakers.....	94
Tabla 32 Descripción interfaz máquina (HMI).	95
Tabla 33 Características pantalla KTP 400 Basic mono.	99
Tabla 34 Resultados a posición de sensor 12cm aprox.....	114
Tabla 35 Resultados a posición de sensor 19cm aprox.....	114
Tabla 36 Resultados a posición de sensor 15cm aprox.....	114
Tabla 37 Tiempos de proceso modo automático.	118
Tabla 38 Extracción de resultados modo automático.	119
Tabla 39 Resultados modo automático.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Familia PLC Simatic S7.	29
Figura 2 Pantalla táctil marca Siemens.....	31
Figura 3 Tamaños norma DIN.....	35
Figura 4 Bomba hidráulica máquina Van Dorn.	55
Figura 5 Placa de bomba hidráulica de máquina Van Dorn.....	55
Figura 6 Esquema de bloques ubicación de secciones principales máquina Van Dorn (Vista Aérea).	56
Figura 7 Máquina de inyección Van Dorn (vista general).	57
Figura 8 Mangueras hidráulicas máquina Van Dorn.	57
Figura 9 Mangueras eléctricas máquina Van Dorn.	58
Figura 10 Válvula involucrada en giro de tornillo (solenoides X).	59
Figura 11 Actuador involucrado en mecanismo de giro de tornillo (motor hidráulico)	59
Figura 12 Válvula involucrada en mecanismo de inyección.....	61
Figura 13 Válvula involucrada en mecanismo de inyección.....	61
Figura 14 Válvula involucrada en mecanismo de inyección.....	61
Figura 15 Actuador involucrado en mecanismo de inyección (tornillo/pistón hidráulico).	62
Figura 16 Válvula involucrada en mecanismo de apertura/cierre de molde (solenoides C y N).	63
Figura 17 Actuador involucrado en mecanismo de apertura/cierre de molde (pistón hidráulico).	63
Figura 18 Válvula involucrada en mecanismo de entrada / salida de expulsor (solenoides R y RT).....	64
Figura 19 Actuador involucrado en mecanismo de expulsor de piezas (pistón hidráulico).	65
Figura 20 Válvula involucrada en mecanismo de ajuste de molde (solenoides A y B).	66
Figura 21 Actuador involucrado en mecanismo de ajuste de molde (motor hidráulico).	66

Figura 22 Fusibles para solenoides máquina Van Dorn.	71
Figura 23 Contactores control de temperatura máquina Van Dorn.....	71
Figura 24 Breaker general máquina Van Dorn.....	71
Figura 25 Placas controladoras dañadas de máquina Van Dorn.	72
Figura 26 Controlador de temperatura máquina Van Dorn.	73
Figura 27 Botones panel principal máquina Van Dorn.....	75
Figura 28 Sensores fines de carrera máquina Van Dorn.	76
Figura 29 Diagrama de bloque del proceso.	80
Figura 30 Posición de termocuplas máquina Van Dorn.	81
Figura 31 Diagrama de control de temperatura diseñado.	85
Figura 32 Controlador de temperatura KX7N.	86
Figura 33 Dimensiones controlador KX7N.....	87
Figura 34 PLC S7-1200.	88
Figura 35 Modulo de E/S Siemens.	89
Figura 36 Relé estado sólido.	89
Figura 37 Fuente LOGO power.....	92
Figura 38 Breaker Siemens 5SX13 10A.	94
Figura 39 Breaker Siemens WG 3A.....	94
Figura 40 Breaker Siemens WH 5A.	95
Figura 41 Diseño HMI.	97
Figura 42 HMI configuración de los tiempos del proceso.	97
Figura 43 Pantalla táctil Siemens KTP400 Basic monocromatic.....	98
Figura 44 Dimensiones pantalla KTP400.....	98
Figura 45 Controlador de temperatura.....	101
Figura 46 Reemplazo de controles de temperatura.	102
Figura 47 Esquema de conexión controlador de temperatura.	103
Figura 48 Ubicación solenoide pistón de inyección.	104
Figura 49 Ubicación motor hidráulico de tornillo.	104
Figura 50 Ubicación de solenoides unidad de cierre.	105
Figura 51 Ubicación de controlador y componentes varios.	105
Figura 52 Dispositivos de control máquina de inyección.	106
Figura 53 Dispositivos al interior del panel principal.	106

Figura 54 Ubicación fusibles máquina de inyección.	107
Figura 55 Ubicación contacto principal de bomba, disyuntor y transformador para control de temperatura.	107
Figura 56 Contactores para control de temperatura.	107
Figura 57 Botones y selectores HMI máquina de inyección.	108
Figura 58 Ubicación mando y HMI máquina inyectora.....	108
Figura 59 Panel HMI máquina inyectora.....	109
Figura 60 Pantalla táctil HMI máquina inyectora.....	109
Figura 61 Ubicación dispositivos HMI máquina inyectora.	109
Figura 62 Características cable AWG.....	110
Figura 63 Borneras.	111
Figura 64 Distribución de cableado.....	111
Figura 65 Manguera de protección para cableado eléctrico.	112
Figura 66 Pasos para calibración del proceso.	112
Figura 67 Cuchara incompleta sensor a 12cm.....	115
Figura 68 Cuchara con exceso de material sensor a 19cm.	115
Figura 69 Cuchara en buenas condiciones sensor 15cm.	116
Figura 70 Posición de sensor a 12 cm.....	116
Figura 71 Posición de sensor a 19 cm.....	116
Figura 72 Posición del sensor a 15cm.....	116
Figura 73 Diagrama de flujo calibración modo manual.	117
Figura 74 Tiempo de ciclos modo automático.....	120
Figura 75 Estadística de piezas completas.....	120

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza la repotenciación del sistema eléctrico y electrónico de la máquina inyectora de plásticos Van Dorn 150-RS-8F para la empresa Tecnitroquel S.A., la cual se encuentra inoperativa debido a los daños en las tarjetas electrónicas. En el proyecto se realiza una investigación sobre el proceso de inyección de plásticos y las máquinas que realizan este proceso, en específico la máquina de inyección con tornillo alternativo ya que este tipo de máquina tiene Tecnitroquel S.A., se investiga el funcionamiento y sus características más importantes para con ello realizar el diseño y posteriormente llevar a cabo la repotenciación del mismo. Se aplican conocimientos sobre instrumentación, automatización de procesos y sistemas hidráulicos, además conocimientos sobre la programación de controladores lógicos programables. Se realiza la automatización utilizando un PLC Siemens S7-1200, además se realiza la interfaz humano-máquina que permitirá la configuración de tiempos del proceso de inyección, también se realizará pruebas de funcionamiento y calibraciones para validar los resultados obtenidos. Se realizará Diagramas: eléctrico, hidráulico, P&ID para así tener todo debidamente documentado y para realizar debidamente los mantenimientos preventivos y correctivos. Finalmente se realizará un manual de usuario y se dará una capacitación al personal de Tecnitroquel S.A sobre como operar correctamente la máquina.

PALABRAS CLAVES:

- **POLÍMEROS**
- **PROCESO INYECCIÓN DE PLÁSTICOS**
- **SENSORES**
- **PLC**
- **CONTROL DE TEMPERATURA**

ABSTRACT

In this Project it is done the repowering of the electric and electronic system of the plastic injector machine Van Dorn 150-RS-8F for the enterprise Tecnitroquel S.A., which is inoperative due to the damages in the electronic cards. In the project an investigation is being done about the process of plastic injection and the machines which make this process, specifically the injection machine with alternative screw due to has this kind of machine Tecnitroquel S.A., the operation and its most important characteristics are investigated in order to carry out the design and then carry out the repowering of the same. Knowledge of instrumentation, process automation and hydraulic systems is applied, as well as knowledge of the programming of programmable logic controllers. The automation is done using a PLC Siemens S7-1200, in addition the human-machine interface is realized that will allow the configuration of times of the injection process, it will be done tests of working and measuring also to valid the achieved results. It will be done some diagrams: electric, hydraulic, P&ID in order to have everything properly certified and in order to make the preventive and corrective maintenance. Finally, it will be done a user manual and it will be given training for Tecnitroquel S.A staff about how to operate the machine correctly.

KEY WORDS:

- **POLYMEROUS**
- **INJECTION OF PLASTIC PROCESS**
- **SENSOR**
- **PLC**
- **TEMPERATURE CONTROL**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detallan los antecedentes de la inyectora de plásticos VAN DORN MODELO 150-RS-8F y los problemas encontrados en el mismo que conllevan a su repotenciación. Se realiza la justificación e importancia del presente proyecto para finalmente plantear los objetivos y alcance del mismo.

1.1. Antecedentes

La empresa TECNITROQUEL S.A. es una empresa dedicada desde hace más de 10 años a la producción de varios productos con este tipo de máquinas inyectoras y en su planta poseen una máquina inyectora de marca VAN DORN del año 1985 que conserva un sistema basado en relés y tarjetas electrónicas que ha presentado en los últimos tiempos varios problemas, porque sus componentes van cumpliendo su vida útil; por ejemplo desde hace dos años varias tarjetas electrónicas de la máquina han quedado sin funcionamiento dado que varios componentes en las tarjetas se han quemado; el agravante en los daños es que no se encuentran ya sus repuestos ni en la fábrica en cuanto a lo que se refiere la parte de tarjetas y sus elementos.

Además por este motivo la producción de la empresa ha bajado considerablemente y se ha planteado el poder migrar a un sistema controlado por un Controlador Lógico Programable (PLC) y eliminar los problemas presentados en este tiempo, de esta manera la empresa podrá contar con una máquina repotenciada y así elevar sus valores de eficiencia y producción para ser nuevamente competitivos en el mercado.

Para lo cual se ha brindado por parte de la empresa la posibilidad a un estudiante de la Carrera en Electrónica, Automatización y Control de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE que realice este proyecto en

su planta; cuyo objetivo principal es la repotenciación de la Inyectora VAN DORN; además de verificar conexiones y realizar el levantamiento de planos necesarios para el proceso; dado que existe muy poca información de la máquina en la empresa. Este proyecto está orientado a poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios realizados, los cuales permitirán al estudiante implementar conceptos y aprender del manejo, comportamiento y funcionamiento de este tipo de máquinas.

Como observación se puede añadir que el proceso de inyección de plástico no produce contaminación directa al medio ambiente dado que no emite gases contaminantes ni altos niveles de ruido. Este tipo de máquinas han generado la posibilidad de encontrar nuevas formas de reutilización del plástico para una producción rentable de cualquier producto en plástico.

1.2. Definición del problema

La máquina inyectora de plástico VAN DORN Modelo 150-RS-8F presenta actualmente el daño de varias tarjetas electrónicas que conforman el cerebro electrónico de la máquina, estas tarjetas se dañan debido a la antigüedad de las mismas generando paros y pérdidas en la producción, esto se debe principalmente a que la vigencia de sus repuestos en el mercado ya no está disponible y ocasiona problemas al momento de realizar los mantenimientos respectivos ya que el equipo fue adquirido en el año de 1985.

1.3. Justificación e importancia

La maquinaria de inyección en general es usada para la fabricación de distintos productos sólidos, mediante un proceso de inyección directa para este caso de plástico, el cual servirá como materia prima para formar el producto. Desde 1920 donde se dio la primera máquina de inyección en plástico hasta la actualidad se han desarrollado varios productos que pueden

ser fabricados por medio de este tipo de máquinas, con la máquina VAN DORN MODELO 150-RS-8F algunos de los productos que se generan son: envases, cubiertos (cuchillos, tenedores, cucharas, trinchas, pinchos), tapas y cualquier objeto plástico que no exceda en la presión de cierre de molde de 1 TON.

Desde el punto de vista empresarial al repotenciar esta máquina se obtendrá una optimización de cantidad en producto y tiempo, lo que conlleva a tener una mejora en calidad y producción para la empresa que posee esta máquina, dado que en el país el despunte en tecnología en este ámbito ha sido bastante acelerado, máquinas como la descrita han quedado obsoletas y más aún en sus países de fabricación donde la tecnología ha crecido abruptamente, dejando a las empresas que las poseen sin ningún tipo de respaldo ni soporte técnico.

Además de repotenciar la máquina y poner en funcionamiento la misma este proyecto tiene la finalidad de satisfacer los requerimientos planteados por la gerencia, cumpliendo con aspectos y normas de seguridad, mejorando el rendimiento de la máquina y proporcionando la información requerida para su operación y mantenimiento.

La importancia de este proyecto radica en poder utilizar conocimientos aprendidos en las aulas que estén acorde a la repotenciación de la máquina, para conseguir en ella un funcionamiento óptimo tanto en su parte eléctrica/electrónica como mecánica, dado que la inversión realizada por la empresa en los últimos años se ha visto afectada por paradas muy largas en tiempo de la máquina debido a fallos en tarjetas en la unidad de control o a elementos de la unidad de potencia, unidad de cierre o en la unidad de inyección, problemas recurrentes que perjudican a la empresa y a su economía.

Por lo tanto se ha visto necesario la repotenciación de esta máquina con tecnología actualizada, para eliminar lo más posible el problema en daño recurrente de tarjetas y su respectiva reparación total o de elementos específicos; además que se presenta un problema muy grande dado que VAN DORN una empresa muy reconocida en este tipo de máquinas está

actualizando sus modelos cada año y esto dificulta encontrar repuestos de modelos discontinuados por el fabricante.

TECNITROQUEL S.A. posee la necesidad de repotenciar y actualizar la tecnología de su máquina inyectora para poder retomar la competitividad en cuanto a la venta de los productos que realiza con la misma, además que como se ha indicado anteriormente el sistema de control es obsoleto debido a la antigüedad de su tecnología y por ende encontrar los repuestos o reparar las tarjetas electrónicas resulta muy complicado.

Los directivos de la empresa han tomado la decisión de repotenciar esta máquina dado que su estructura mecánica está en muy buena condición, el sistema hidráulico se encuentra operativo y el costo económico que representa adquirir una nueva máquina es muy alto para la empresa. Es por ello que se propone a TECNITROQUEL S.A. dicha repotenciación, tomando en cuenta además que se tiene la posibilidad de aportar a la empresa y a la formación profesional del alumno aplicando los conocimientos aprendidos en la Universidad.

1.4. Viabilidad del proyecto

- **Viabilidad técnica**

El presente proyecto a través de la repotenciación, permitirá mejoras en la producción ya que la máquina no tendrá paros innecesarios. Todos los actuadores, sensores, controladores lógicos programables necesarios para la repotenciación se encuentran disponibles en el mercado y los repuestos de los mismos estarán vigentes como mínimo 10 años, lo cual garantiza la viabilidad técnica para el desarrollo del proyecto.

- **Viabilidad económica**

Los recursos económicos necesarios para el desarrollo del proyecto serán financiados por la empresa TECNITROQUEL S.A. El beneficio en el

aspecto económico es indudable ya que la empresa ahorrará dinero, porque no realizará una inversión innecesaria al adquirir una nueva máquina inyectora de plástico; es decir, la inversión de una nueva máquina de similares características sobrepasa los 55000 dólares que con la realización del presente proyecto de grado se tendrá un ahorro significativo.

- **Viabilidad ambiental**

La repotenciación de la máquina inyectora de plástico VAN DORN Modelo 150-RS-8F no afectara ni positiva ni negativamente a la contaminación ambiental que actualmente esta máquina genera.

- **Viabilidad social**

La repotenciación de la máquina inyectora de plástico, permitirá que la empresa TECNITROQUEL S.A. se mantenga competitiva en el mercado y así dar estabilidad económica a los empleados de la empresa.

Luego de analizar todos los aspectos de viabilidad, se determina que la repotenciación planteada en este proyecto es factible, proponiendo un procedimiento secuencial y estructurado que abarque cada etapa de manera puntual, y que permita obtener los resultados esperados en un plazo definido, para beneficio de la empresa.

1.5. Alcance del proyecto

TECNITROQUEL S.A posee una máquina inyectora de marca VAN DORN que será repotenciada; para esta repotenciación se realizará el análisis a detalle del procesos de inyección de plástico, la recopilación de información (planos eléctricos/ electrónicos) que permitan verificar conexiones y funcionamiento tanto eléctrico como electrónico y al mismo tiempo sus accionamientos mecánicos e hidráulicos para de esta forma

verificar el estado total de la máquina y cada uno de los desperfectos que pudiera tener la misma.

Luego de lo cual se procederá al estudio y dimensionamiento de los componentes y elementos necesarios para la repotenciación de dicha máquina, además, se realizará el levantamiento de planos P&ID y electrónicos de la máquina, los cuales serán entregados también al final del trabajo a la empresa. Con este minucioso estudio se podrá revisar entonces las entradas y salidas tanto analógicas como digitales necesarias para el dimensionamiento del PLC; he ir generando la programación apropiada para la máquina y su funcionamiento.

Los controladores de temperatura de la máquina son analógicos y dos de ellos están totalmente dañados por lo cual se procederá al cambio por unos digitales de acuerdo al dimensionamiento que se realizará en el proceso; además se realizará un HMI sobre una pantalla táctil para que el operador acceda a cada una de las zonas y cambios básicos que necesita la máquina y configure la misma acorde al molde que se coloque para producción.

Una vez terminada la repotenciación se realizará pruebas de funcionamiento de cada una de las partes de la máquina como son: Unidad de Cierre, Unidad de Inyección, Unidad de potencia, Unidad de Control comprobando el correcto trabajo de cada uno de sus sensores, actuadores y controladores y de ser necesario se realizará ajustes finales, para finalmente proporcionar la información (Planos eléctricos, Plano P&ID, Manual de operación), capacitación y respaldos correspondientes a la empresa.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Repotenciar el sistema eléctrico y electrónico de una máquina Inyectora de plástico VAN DORN Modelo 150-RS-8F, mediante la migración de tecnología obsoleta (tarjetas electrónicas), a una tecnología actual (PLC)

para la recuperación de su funcionamiento y producción en la empresa TECNITROQUEL S.A.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar las características y especificaciones técnicas del funcionamiento de la máquina inyectora de plásticos Van Dorn para su repotenciación.
- Verificar el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores de la máquina para cambiar partes que estuvieran en mal estado.
- Seleccionar técnicamente los elementos y componentes correctos como son sensores, controladores y actuadores para su puesta en marcha.
- Establecer un programa en el PLC capaz de cubrir cada una de las necesidades y procesos que la máquina tenga, para su correcto funcionamiento en situaciones normales y protecciones en situaciones extremas o daños en los elementos complementarios.
- Implementar una interfaz HMI simple e intuitiva que permita al operario utilizar la máquina
- Analizar los resultados experimentales en cada prueba y corroborar el funcionamiento de la máquina y cada uno de sus elementos, sensores, actuadores y controladores.
- Realizar planos eléctricos, electrónicos y P&ID y manual de operación para dar soluciones a problemas que pueda presentar la máquina en el futuro.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla una explicación teórica acerca de los plásticos y polímeros, el modelo de procesamiento por inyección, funcionamiento de una máquina inyectora, los componentes y los equipos e instrumentos utilizados en el proceso como son PLC, sensores, actuadores, etc.

2.1. Los plásticos

2.1.1. Introducción

El plástico es uno de los materiales más ampliamente usado en la actualidad, se emplea para la elaboración de utensilios de uso cotidiano, como para la fabricación de piezas específicas para determinada actividad u objeto. Este material presenta excelentes cualidades, tienen un bajo costo, son ligeros, resistentes, inertes, versátiles, aislantes, duraderos, moldeables, estéticos, entre otras cualidades que lo han llevado a convertirse en indispensable.

Los métodos para el procesamiento del plástico son diversos, se tiene así: el moldeo por prensa, por soplado, por termo formado, por calandrado, entre otros. Sin embargo entre los métodos más comunes y ampliamente utilizados se encuentran los moldeos o modelamientos por inyección, debido a que permiten la elaboración de piezas y objetos de bastante precisión con tiempos de producción poco elevados.

2.1.2. Definición

Un plástico puede definirse como un material que aglomera a diferentes sustancias con características y propiedades concretas. Estos son

substancias orgánicas integradas por macromoléculas producidas transformando materiales naturales o sintéticos extraídos del carbón, gas natural o petróleo.

Un plástico sintético puede ser moldeado al ser calentado y adquirir diversas formas luego de ser vuelto a enfriar, están compuestos por moléculas gigantes llamadas polímeros, obtenidas mediante un proceso denominado polimerización. La polimerización en sentido básico combina dos o más moléculas para formar otra, repitiendo la estructura y composición de las originales. En resumen los plásticos pueden ser de origen mineral, vegetal y animal, cada uno de ellos con características y propiedades independientes.

2.1.3. Propiedades y comportamiento de los plásticos

Para el estudio de las propiedades de los plásticos es necesario conocer su comportamiento el cual depende principalmente de: la distribución de las macromoléculas, la colocación de los átomos que lo conforman, la naturaleza de dichos átomos y el ordenamiento de las macromoléculas. (Águila, 2010).

Se analizará el comportamiento de los plásticos en los siguientes aspectos:

- **Reacción ante el calor:** Cuando el polímero es de cadenas lineales, al aplicar calor se reblandecen continuamente, son fáciles de moldear y se pueden reciclar. Por otro lado si se trata de cadenas entrecruzadas, el plástico presenta resistencia al calor, tiene forma estable e invariable al calor. (Águila, 2010)
- **Resistencia química:** Generalmente los plásticos son vulnerables a algunos disolventes orgánicos, son resistentes a los ácidos. Si su estructura es tridimensional no se disuelven, sino que se hinchan por penetración de líquidos. Por otro lado si son de estructura lineal son solubles bajo determinados disolvente orgánicos.

Presentan diferentes comportamientos frente a la oxidación pero son en todos los casos vulnerables a este efecto. (Águila, 2010)

- **Comportamiento eléctrico:** Son aislantes y pésimos conductores, por lo que se usan como dieléctricos, son propensos a cargarse electrostáticamente y atraen el polvo. (Águila, 2010)
- **Reacción ante el fuego:** Algunos plásticos arden con facilidad, mientras que otros son poco combustibles, bajo muy pocas excepciones ningún plástico es inflamable. (Águila, 2010)
- **Comportamiento sanitario:** No son asimilables por microorganismos vivos, ni por enzimas, el uso de aditivos en su procesado puede favorecer la transmisión de microorganismos perjudiciales. (Águila, 2010)
- **Comportamiento óptico:** La mayoría de plásticos son transparentes, en su procesado se pueden emplear colorantes que los convierten en translucidos u opacos. (Águila, 2010)
- **Densidad:** Son materiales ligeros de densidad variable. Los polímeros cristalinos son en general más densos. (Águila, 2010)
- **Envejecimiento:** Todos los plásticos envejecen y se destruyen, los agentes naturales o biológicos que favorecen su envejecimiento son: el oxígeno, la intemperie, la luz ultravioleta, químicos abrasivos, fatiga, sobre esfuerzo. El uso de aditivos en su procesado permiten prolongar su vida útil. (Águila, 2010)

2.1.4. Clasificación de los plásticos

Los plásticos se pueden clasificar de diferentes maneras, y de acuerdo a diversos aspectos como su naturaleza, su estructura molecular, sus reacciones, aplicaciones, tipo de manipulación, etc. Sin embargo y con motivos del presente estudio se describirá su clasificación en función de su estructura molecular:

- **Termoplásticos:** Se reblandecen o moldean por acción del calor, su estructura es lineal y poca ramificada, son reciclables.

- **Termoestables:** Son moldeables por acción del calor, sin embargo una vez moldeados su fisonomía es irreversible, son de estructura ramificada o tridimensional.
- **Elastómeros:** Son moldeables por medio de técnicas para el procesado de caucho, son de estructura amplia, con pocos enlaces transversales, recuperan su forma después de ejercer una fuerza sobre ellos. (Águila, 2010)

2.1.5. Procesamiento de los plásticos

Dependiendo del tipo de plástico que se emplea como materia prima, se desarrollan varias técnicas para su procesamiento, el moldeo es en general el método para dar forma a una estructura plástica, aunque en el aspecto técnico el moldeo corresponde a una fase del proceso integral para la obtención de una pieza o producto terminado.

Entre los procesos de transformación del plástico principales están:

- Prensado.
- Inyección.
- Extrusión.
- Soplado.
- Colada.
- Espumación.
- Termo conformado. (Águila, 2010)

Dado el objetivo de este estudio, se hará énfasis en el moldeo por inyección, uno de los más ampliamente desarrollados y empleados en la industria.

- **Procesamiento por inyección**

Esta técnica permite el moldeo de todo tipo de plásticos termoplásticos, termoestables y elastómeros, proporciona piezas de gran calidad, y de formas complejas.

En el moldeo por inyección se puede identificar las siguientes etapas o pasos:

- La materia prima se coloca en una tolva o recipiente que permite su paso a una antecámara o cilindro.
- La antecámara se calienta exteriormente y dispone de un pistón que empuja el material al molde.
- La materia fundida llena el molde, mientras el material formado (pieza) se enfría y desmolda, el pistón se retrae para empezar un nuevo ciclo.

2.1.6. Descripción de los principales tipos de plásticos

Es posible enmarcar los plásticos en dos grandes grupos, los plásticos de origen natural, y los de origen sintético, siendo los de origen natural los primeros en emplearse, y a pesar de mantener vigencia, están siendo reemplazados por los termoplásticos de origen sintético.

Los plásticos de origen sintético son actualmente los más empleados, con su clasificación en termoestables y termoplásticos, siendo los segundos los más numerosos, puesto que este estudio se orienta al moldeo por inyección en el cual se emplea termoplásticos como materia prima ampliaremos el estudio sobre este y sus principales compuestos.

2.1.6.1. Termoplásticos

Son los más numerosos en el mundo de los plásticos, presentan la ventaja de poder reciclarse, y su principal desventaja es la poca resistencia mecánica frente a altas temperaturas. Los principales termoplásticos son:

- **Policloruro de vinilo (PVC): Características:** (Águila, 2010)
 - $Densidad = 1,4 \frac{kg}{dm^3}$.
 - $Alargamiento = 35 \%$.
 - $Resistencia a la tracción = 5 \frac{kg}{mm^2}$.

- *Es insoluble, aislante eléctrico y térmico y resiste muy bien a la corrosión.*
- *Para que tenga las cualidades adecuadas, hay que añadirle estabilizantes, lubricantes y aditivos.*
- *Resistente a los agentes químicos (ácidos y álcalis) pero es sensible a algunos disolventes.*
- *Es incoloro y transparente, por lo que se usa colorantes para colorearlo.*
- *Con los aditivos agregados se obtiene distintos tipos de PVC, con las siguientes características:*
 - *Rígido o flexible.*
 - *Transparente u opaco.*
 - *Frágil o tenaz.*
 - *Mate o brillo.*
- *Sus aplicaciones, dependiendo del tipo de plástico, son:*
PVC rígido: botellas (agua, vinagre, aceite), envases, tuberías, perfiles, láminas, planchas, bombas y recipientes para ácidos, asientos.
PVC flexible-blando: cortinas de ducha, mangueras de riego, recubrimiento aislante de los cables eléctricos, tuberías y mangueras flexibles, recubrimiento de tejidos o piezas metálicas, juguetes, pavimentos, impermeables, etc.
- **Polietileno:** *Características que lo definen: (Águila, 2010)*
 - *Resistencia a la tracción = $2,9 \frac{kg}{mm^2}$*
 - *Densidad = $0,91 - 0,96 \frac{kg}{dm^3}$ (dependiendo del tipo de que se trate).*
 - *Alargamiento = 60 %.*
 - *Cualquier color.*
 - *Se obtiene por polimerización del etileno. Pudiendo realizarse a 170 °C y 1.400 atmósferas o a 70 °C y presión atmosférica, dando como resultados polietileno blando o polietileno duro.*

- Tiene buena resistencia química a los disolventes y álcalis.
- Es antiadherente frente a adhesivos tintes y barnices y difícil de imprimir.
- Es liviano, transparente, flexible y aislante eléctrico.
- Sus aplicaciones, dependiendo del tipo de plástico, son:
Polietileno blando: fundas para hogar, embalajes industriales, impermeabilizaciones agrícolas y de edificios, botellería, recubrimientos, envases.
Polietileno duro: fundas menos flexibles, cajas, envases de uso doméstico e industrial, juguetes, cascos de seguridad laboral, cubos, bidones, mascarillas de oxígeno, papeleras.
- **Poliestireno: Características:** (Águila, 2010)
 - Resistencia a la tracción = $3 - 7 \text{ kg/mm}^2$.
 - Densidad = $1,2 \text{ kg/dm}^3$.
 - Cualquier color.
 - Resistencia a compresión = $6 - 11 \text{ kg/mm}^2$.
 - Se obtiene del estírol.
 - Es brillante y transparente, fácil de moldeo y barato.
 - Tiene una gran fragilidad debido a su rigidez y bastante sensible a los disolventes.
 - Tiene una resonancia acústica, por lo que es usado en radio y televisión.
 - En una de sus derivaciones puede ser un buen aislante térmico, pero no es un aislante acústico.
 - Existen dos versiones con claras diferencias: el PS duro (muy frágil) y el PS expandido (porexpan o corcho blanco).
 - Sus aplicaciones dependen del tipo de PS:
El PS duro se utiliza para embalajes y envoltorios de productos de alimentación, para hacer reglas, escuadras, cartabones, bolígrafos, cintas de escribir o casetes, bisutería, juguetes, regletas y accesorios eléctricos y electrónicos.

El PS expandido es esponjoso y se utiliza como aislante térmico. Como embalaje y envasado aísla el producto de golpes. Su baja densidad le hace apto para decorados cinematográficos o de teatro.

- **Polimetacrilatos:** Características que lo definen: (Águila, 2010)

- Resistencia a la tracción: 7.5 kg/mm^2 .
- Densidad= 1.2 kg/dm^3 .
- Alargamiento = 6 %.
- Este plástico es conocido como resinas acrílicas, metacrilatos o vidrio aerífico.
- Es obtenido a partir de la acetona o del ácido cianhídrico.
- Son transparentes, siendo de una alta calidad que no se deteriora con el tiempo ni con la luz.
- Resiste bien los agentes químicos y atmosféricos.
- Son de fácil moldeo y buenos aislantes eléctricos.
- Son rígidos, tenaces, ligeros y resistentes a los golpes.
- Se rayan con facilidad y se deforman por acción del calor elevado.
- Sus aplicaciones giran en torno a la que es sin duda su característica más popular: la transparencia. Se utiliza en artículos decorativos (tocador y cuarto de baño) y aplicaciones industriales (parabrisas y ventanas de aviones y barcos, claraboyas y cubiertas, viseras de sol, cristales de seguridad y faros de automóvil, techos y ventanillas transparentes, aparatos de óptica y TV, gafas, máquinas fotográficas, etc.

- **Poliamidas:** Características que las definen: (Águila, 2010)

- Resistencia a la tracción = $5 - 8 \text{ kg/mm}^2$.
- Densidad- 1.2 kg/dm^3 .
- Resistencia a compresión = $5 - 10 \text{ kg/mm}^2$.
- Color: translúcido e Inodoro.

- *Se elaboran a partir del fenol. Los más conocidos son el nylon y el perlón.*
- *Sus propiedades mecánicas son muy parecidas a las de algunos metales no ferrosos.*
- *Buena textura, lo que hace que su coeficiente de fricción sea bajo.*
- *Soportan los agentes químicos (se utilizan como recubrimiento).*
- *Fácil moldeo y posibilidades de trabajar hasta 100°C.*
- *Reforzadas con fibra de vidrio, mejoran sus propiedades.*
- *Sus aplicaciones giran en torno a: cojinetes, cremalleras, engranajes, correas de transmisión (por sus cualidades de bajo rozamiento). Además, también se emplean en ventiladores, carcasas de máquinas, tornillería y piezas de automóvil. Por sus buenas cualidades mecánicas, se utiliza en forma de fibra para fabricar tejidos, cuerdas y cables.*
- **Siliconas:** *Características que las definen: (Águila, 2010)*
 - *Es obtenida del fenol al sustituir el carbono por silicio.*
 - *Químicamente son inertes y son hidrófugas.*
 - *Son buenos aislantes eléctricos incluso estando a altas temperaturas.*
 - *Se endurecen por calentamiento y resisten bien los choques y el rozamiento.*
 - *Soportan muy bien los agentes atmosféricos, sobre todo la humedad.*
 - *Sus aplicaciones más conocidas son: revestimiento en camisas de motores, productos biológicos, cables eléctricos y juntas de aislamiento. También se emplean como barnices y como sustituciones del vidrio, por ser transparentes y soportar bien los choques. Otras aplicaciones son la impermeabilización, los aceites especiales para lubricar y las aplicaciones médicas.*

- **Fluorados:** *Características que los definen:* (Águila, 2010)
 - *Se obtienen del acetileno. Su proceso es complejo pues, aun siendo termoplásticos, su viscosidad en fundido es alta, lo que dificulta su moldeo.*
 - *Son muy resistentes químicamente y sólo les atacan materiales como el sodio fundido o el flúor nascente.*
 - *Sus propiedades mecánicas no son buenas, pero pueden mejorarse agregando determinadas cargas reforzantes.*
 - *Su coeficiente de deslizamiento es muy bueno, de igual manera que sus condiciones de aislante eléctrico.*
 - *Su proceso de obtención hace que sea un plástico caro, aunque es muy utilizado.*
 - *Sus aplicaciones son muy variadas: es parte esencial en la industria química, aeronaves, satélites y equipos de comunicación (radio y TV), y en medicina. Quizás la aplicación más popular sea como antiadherente en las sartenes (TEFLÓN). También se emplea en cojinetes y válvulas cardíacas.*

2.1.7. Plásticos para procesado por inyección

Para el moldeo de plástico por inyección intervienen tres factores fundamentales: El funcionamiento de la máquina de inyección, el material que se emplea y el molde en el cual se forma la pieza; estos tres factores mantienen una estrecha dependencia, por lo que es necesario comprender la relación entre las condiciones de procesado y las propiedades de los plásticos empleados, para así entender el comportamiento de los plásticos en el proceso de moldeo por inyección.

Para entender más como fluye un material plástico en el procesado por inyección es preciso comprender en un concepto físico a la molécula de plástico, para esto se emplea como referencia el polietileno, el cual es químicamente el más simple de los termoplásticos.

El proceso de polimerización del polietileno consiste en tomar una molécula reactiva simple de etileno y provocar que se enlace con otra molécula igual, bajo las condiciones adecuadas, estos enlaces son covalentes entre sí y forman estructuras de cadena larga llamadas polímeros. Este proceso descrito de manera simple, es en realidad más complejo, ya que cada polímero formado tendrá diferente longitud y características de cohesión, por esta razón se extiende el término de peso molecular aplicado a los polímeros, aunque en realidad un polímero sea una mezcla de grandes moléculas de diferente tamaño y peso, es decir cada muestra tendrá su propia distribución de pesos moleculares.

Cuando ocurre la polimerización del polietileno las moléculas de etileno se pueden enlazar en una sucesión simple de uniones de carbono, o pueden unirse dando lugar a ramificaciones. Las ramificaciones tienen un efecto directo en las propiedades del plástico, es así que una estructura lineal permite a los segmentos del polímero juntarse más, lo que produce un material más denso, de mayor rigidez y dureza, que fluirá con más dificultad que un material ramificado. Los efectos de las ramificaciones en las propiedades del polietileno se muestran a continuación.

Tabla 1

Efecto de las ramificaciones en las propiedades del polietileno.

Polietileno		
	Lineal	Ramificado
Densidad	Mayor	Menor
Permeabilidad a Gases	Menor	Mayor
Rigidez	Mayor	Menor
Deformación	Menor	Mayor
Fluidez	Menor	Mayor
Compresibilidad	Menor	Mayor
Resistencia al Impacto	Menor	Mayor

Fuente: (Águila, 2010).

Otra característica de los materiales para inyección al momento de la polimerización es la cristalinidad, un material es cristalino cuando las

cadenas poliméricas se acomodan en estructuras ordenadas, si esto no se da se dice que es un polímero amorfo; en la realidad todos los polímeros tienen componentes cristalinas y amorfas, en mayor o menor proporción, y el efecto de la cristalinidad en las propiedades de los plásticos para inyección se resume en la siguiente tabla.

Tabla 2

Propiedades de plásticos cristalinos y amorfos.

Propiedades	Cristalinos	Amorfos
Densidad (Para un mismo material)	Mayor	Menor
Dureza	Mayor	Menor
Fusión o reblandecimiento	Punto de fusión definido	Se reblandecen en un intervalo de temperaturas
Rigidez	Mayor	Menor
Encogimiento	Mayor	Menor
Permeabilidad a gases disolventes	Menor	Mayor
Temperatura de deformación bajo carga	Mayor	Menor
Resistencia al impacto	Menor	Mayor

Fuente: (Águila, 2010).

Para el moldeo de plástico por inyección, es importante conocer la temperatura a la cual el polímero empleado se reblandece, esta temperatura es una propiedad propia de cada polímero y se la conoce como temperatura de transición vítrea T_g , y más rigurosamente hablando consiste en un pequeño intervalo de temperaturas sobre la cual el plástico presenta una consistencia de hule.

La temperatura de transición presenta variables en función de la cristalinidad de polímero, como ya se mencionó todo polímero contiene cadenas amorfas y cristalinas, cuando un polímero eleva su temperatura a la de transición vítrea la parte amorfa se reblandece hasta la consistencia de hule, mientras que la parte cristalina permanece solida hasta alcanzar la temperatura de fusión T_m , a la cual se convierte en un material fluido. En este sentido todos los polímeros presentan una T_g en su parte amorfa, sin

embargo no todos muestran un T_m definido, y esta temperatura es posible identificarla con claridad en materiales mayormente cristalinos.

En el procesado de plástico por inyección los materiales cristalinos, luego de alcanzar la temperatura de fusión T_m incrementan su volumen debido a que se produce la fundición de la estructura ordenada, por este motivo al emplear estos materiales como materia prima se debe tener en cuenta que las piezas moldeadas presentarán una contracción conforme se vayan enfriando. Mientras más alta sea la temperatura de fundido mayor será la contracción que presentaran las piezas, además la rapidez a la cual se enfríe la pieza en el molde puede emplearse como variable para manipular la cristalinidad, es así que mientras más lento se enfríe la pieza mayor será su cristalinidad.

En la siguiente tabla se muestra la temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión para algunos de los principales polímeros.

Tabla 3

Tg y Tm de principales polímeros.

Materiales	Tg(°C)	Tm(°C)
ABS	-	190
Acetales	-85	175
Tricetato de celulosa	70	306
Nylon 6	50	225
Nylon 6,6	50	200
Nylon 6,10	40	213-220
Nylon 11	46	182-194
Poliacrilonitrilo	87	320
Polibutadieno	-121	-
Policarbonato	152	225
Policlorotrifluoro etileno	35 a 45	220
Policloruro de vinilideno	-20	210
Policloruro de vinilo	80	200
Poliestireno	100	235
Poliesterclorado	-	181
Polietileno alta densidad	-30 a -120	135
Polietileno baja densidad	-300 a -120	110
Polietilentereftalato	81	265
Polifluoruro de vinilideno	-40	168
Polimetacrilato	65	160
Polipropileno	-20	170
Politetrafluoroetileno	-130	330

Fuente: (Águila, 2010).

Durante el proceso por inyección los principales factores que influyen en la cristalinidad son: la temperatura del molde, el método de enfriamiento al extraer la pieza, el tiempo del ciclo, presiones de inyección y remanente. (Águila, 2010).

La presión aumenta la rapidez de cristalización, debido a que obliga a los segmentos a compactarse más formando estructuras ordenadas, esta variable junto con la temperatura, influyen en la obtención de piezas más cristalinas. El hecho de incrementar la temperatura del molde y hacer más lento el enfriamiento de la pieza desmoldada a fin de obtener mayor cristalinidad supone un incremento en el tiempo de ciclo del proceso de inyección, lo que genera menos productividad tiempos de para, con el fin de disminuir en algo estos tiempos se emplea la técnica de templado, la cual consiste en desmoldar la pieza tan pronto como alcance un grado de cristalinidad que impida su deformación, para posteriormente recalentarla y permitir su enfriamiento paulatino, esta técnica, debe ser manejada de manera que el recalentamiento no afecte la forma de la pieza, pero sin embargo disminuya la rapidez de enfriamiento.

Otro factor de vital importancia y ligado a la cristalinidad es la fluidez del polímero, como se ha mencionado anteriormente la unión de moléculas grandes provee de mejores propiedades al polímero en su uso final, sin embargo estas moléculas fluyen con más dificultad en su procesado, es por esto que *se requiere un compromiso entre pesos moleculares suficientemente altos para que presenten buenas propiedades de uso final y, a la vez muy bajos para que puedan ser procesados sin dificultad* (Águila, 2010).

Para determinar el peso molecular promedio de un polímero, se pueden emplear métodos absolutos y relativos, en los primeros se determina el peso molecular por medio de medición de propiedades coligativas, dispersión de luz, entre otras; mientras que en el segundo se lo hace mediante la medición de la viscosidad de una solución en la que muestras del polímero se encuentran disueltas, esta técnica es una de las más empleadas, ya que permite obtener el peso molecular promedio de forma

más sencilla y con buena precisión, la viscosidad (η) y el peso molecular (M) se relación por la siguiente ecuación:

$$\eta = KM^a \quad (1)$$

Donde K y a son constantes que dependen del polímero, del disolvente y de la temperatura.

Estudios realizados por Flory extienden la relación entre viscosidad y peso molecular a la siguiente ecuación:

$$\log \eta = A + BM_w^{1/2} \quad (2)$$

Donde M_w es el peso molecular promedio en peso, A y B son constantes a una temperatura determinada. Esta relación permite obtener el índice de fluidez, el cual se define como el peso molecular de polímero en gramos extruido en 10 minutos a través de un capilar de diámetro y longitud específicos, por medio de la presión ejercida a través de un peso muerto a determinadas condiciones de temperatura.

A pesar de que el índice de fluidez es ampliamente usado en la industria plástica, no representa una medida de fluidez de mucha aplicabilidad al moldeo por inyección, ya que este índice se obtiene a velocidades de corte lentas, por este motivo se emplean técnicas de medición de fluidez a velocidades de inyección por reometría capilar o determinación de longitud de flujo bajo condiciones específicas en moldes de espiral.

Los materiales con pesos moleculares altos fluyen con más dificultad y extruyen menos material bajo las mismas condiciones, además a mayor peso molecular menor cristalinidad, por esta razón un polímero debe comprometer buenas características físicas como de procesabilidad.

Tabla 4

Efecto del aumento de peso molecular en polímeros.

Propiedad	Efecto
Cristalinidad	Reduce
Densidad	Reduce
Rigidez	Reduce
Tracción	Aumenta
Elongación	Aumenta
Fluencia	Reduce
Resistencia al impacto	Aumenta
Resistencia a la fisuración por tensiones	Aumenta

Fuente: (Águila, 2010).

Finalmente el efecto de la temperatura en el procesado de plásticos por inyección, es de suma importancia, la velocidad a la cual un polímero se calienta está limitada por la conductividad y estabilidad térmica del material, para el análisis de este aspecto se hace uso del concepto de difusividad térmica, la cual tiene una relación directa con el tiempo de enfriamiento requerido y esto incidirá finalmente en el tiempo total del ciclo. Mientras más se caliente el material más tiempo requerirá estar en el molde, lo que afecta el grado de cristalinidad y las propiedades del polímero.

2.2. Máquinas inyectoras de plástico

El principio del moldeado por inyección consiste insertar polímero fundido a alta temperatura en un molde cerrado y frío por medio del incremento de presión, el polímero se solidifica obteniendo una pieza terminada al abrir el molde. En ocasiones la pieza debe ser refinada al salir del molde para obtener un mejor acabado.

Una máquina de inyección se compone por las siguientes unidades.

- **Sección o unidad de inyección:** Es la sección donde se alimenta de polímero, se funde y almacena, hasta su inserción en el molde por medio del incremento de presión.
- **Sección o unidad de cierre o prensa:** Es la sección donde se encuentra el molde, se compone de mecanismos móviles para el

cierre y apertura y generalmente incluye un sistema de enfriamiento.

- **Sección o unidad de potencia:** La conforman todos los componentes que proveen de fuerza motriz para las unidades de inyección y cierre.
- **Sección o unidad de control:** Es la sección donde se ejerce el mando de la máquina por parte del operador, consta de sistemas eléctricos, electrónicos, hidráulicos, entre otros, los cuales interaccionan para dar la funcionalidad al equipo.

2.2.1. Componentes de una máquina inyectora

Dentro de los componentes de una máquina inyectora las unidades de inyección y de cierre son las principales, ya que definen la funcionalidad de una máquina inyectora.

2.2.1.1. Unidad inyectora

Las funciones de esta unidad son cargar y fundir el material por medio del giro del tornillo, también permite el movimiento axial del tornillo a manera de pistón para inyectar el material en el molde y mantenerlo a presión.

La unidad de inyección consta de un cilindro capaz de soportar altas presiones, cuenta con anillos calentadores, para calentar y fundir el material mientras el tornillo hace la función de inyección. El calentamiento del tornillo se realiza por etapas dependiendo de las dimensiones del barril.

El tornillo está construido en acero de alta resistencia, el cual es pulido o cromado para facilitar el movimiento del fluido sobre su superficie, el tornillo recibe el material, lo mezcla, funde hasta tener la cantidad suficiente para inyectarlo al molde.

Los tres principales tipos de unidades de inyección son:

- Unidades de pistón de una fase.
- Unidades de dos fases pistón y tornillo.

- Unidades con tornillo alternativo.

De estas la más empleada es la unidad con tornillo alternativo, en la cual el tornillo alterna funciones de giro e inyección.

Las principales funciones de la unidad de inyección en el proceso se resumen en: moverse para acercarse o retirar la boquilla hacia el ingreso del molde, generar la presión requerida para inyectar el material en el molde, girar el tornillo en la alimentación, mover el tornillo axialmente en la inyección y mantener la presión.

La energía necesaria para fundir el plástico proviene del calor generado por el tornillo y su giro por medio de un motor, en la etapa de alimentación se consume una gran cantidad de energía, y se requiere un motor con suficiente torque para romper la inercia inicial.

Para cerrar el molde no se requiere demasiada energía, sin embargo al final del cierre se necesita aplicar una gran fuerza para mantener cerradas las dos partes del molde.

La etapa de inyección requiere el máximo de energía o potencia, aunque por un periodo generalmente muy corto, esta energía será superior o inferior en dependencia del material fluido, materiales más viscosos requieren grandes presiones.

Finalmente las etapas de apertura del molde y eyección de la pieza requieren muy poca energía.

Es de suma importancia regular la potencia durante las distintas etapas de inyección, la velocidad a la que fluye el material en la cavidad del molde y la presión que se aplica durante el tiempo de enfriamiento, influirán de manera directa en la calidad de la pieza obtenida, los tipos de sistemas que suministran potencia a la unidad de cierre son:

- Motor eléctrico con caja reductora.
- Motor hidráulico con caja reductora.
- Motor hidráulico directo.

La principal función de estos sistemas es mover los mecanismos que permiten abrir o cerrar el molde, además de mantener la presión durante el proceso de inyección.

Sistema de potencia eléctrico.- En máquinas pequeñas, se emplea dos motores eléctricos independientes uno para la apertura y cierre del molde y el otro para la inyección. En sistemas eléctricos es posible regular la velocidad del tornillo en determinados valores, lo que puede permitir reproducir valores para una producción constante.

Los motores eléctricos empleados en máquinas de inyección deben poseer un torque muy elevado, por lo que el tornillo empleado debe tener diámetros pequeños para que no sea dañado. Adicionalmente los sistemas eléctricos poseen un freno mecánico el cual se acciona al finalizar la etapa de alimentación evitando que el tornillo gire durante la inyección, lo cual elimina la necesidad de una válvula anti retorno.

Sistema de potencia hidráulico.- Es el más empleado, basa su funcionamiento en la transformación de potencia hidráulica en potencia mecánica. Se emplea un fluido para transmitir energía de una fuente a las partes de accionamiento de la máquina.

El uso de aceite como fluido transmisor ha predominado en la mayoría de máquinas hidráulicas, y es usado actualmente por casi todos los fabricantes de máquinas de inyección. (Águila, 2010).

En los sistemas hidráulicos se manejan presiones entre 70 y 140 $\frac{kg}{cm^2}$, o superior en máquinas de inyección de mayor tamaño. Las ventajas de un sistema hidráulico frente a un neumático son:

- Permite variar las velocidades de manera sencilla mediante el control del volumen del fluido. (Águila, 2010).
- Se consigue una relación lineal entre torque y velocidad. (Águila, 2010).
- Permite arranques y paros rápidos debido al pequeño momento de inercia. (Águila, 2010).
- Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que favorece alcanzar velocidades de inyección elevadas. (Águila, 2010).

2.2.1.2. Unidad de cierre

La principal función es sujetar el molde durante la inyección, suministra además la fuerza necesaria para mantener cerradas y abiertas las dos mitades del molde. Las partes principales de la unidad de cierre son:

- **Plato móvil.-** Es una estructura móvil que soporta una mitad del molde, esta mitad se mueve hacia adelante y hacia atrás sobre guías, permitiendo que el molde se abra y se cierre.
- **Plato fijo.-** Esta estructura soporta los mecanismos de cierre de la unidad, sobre esta se ejerce la fuerza de cierre del molde.
- **Mecanismos de cierre.-** Pueden ser sistemas mecánicos con palancas o hidráulicos, para máquinas pequeñas se emplean los sistemas mecánicos mientras que para máquinas más grandes se hace uso de la hidráulica.
- **Sistema mecánico con rodillera.-** Es un cilindro hidráulico ligado a las barras para movimiento de plato móvil, permite incrementar la velocidad de sellado y amortigua el cierre de los moldes disminuyendo el choque.
- **Sistema hidráulico.-** Lo constituye un cilindro hidráulico para ejercer fuerza de cierre, está ubicado en la parte central del sistema. El recorrido de este cilindro se puede ajustar de acuerdo al tamaño del molde.

2.2.1.3. Unidad de control

La unidad de control de una máquina inyectora en su gran mayoría hace uso de sistemas automatizados gobernados por controladores, autómatas programables, interfaces humano máquina entre otros. En este apartado se describirá de manera teórica y general los principales componentes de la unidad de control.

A. Sistemas automatizados

Los sistemas automatizados están compuestos por una parte de mando y una parte operativa.

- **Parte operativa.**

Son los dispositivos que hacen la máquina se mueva y realice sus operaciones, forman parte de ellos los actuadores como son motores, pistones, motores de giro limitado, motores de giro completo, válvulas direccionales tanto hidráulicas como neumáticas, etc. (Piedrafita, 2004).

- **Parte de mando.**

La parte de mando suele ser un autómeta programable, el autómeta elabora las acciones a realizar sobre el sistema de fabricación en base al programa que ha sido introducido en su memoria, a las señales de los sensores y a las órdenes que provengan del operador, (Piedrafita, 2004).

No es posible automatizar todos los procesos. Las razones pueden ser varias, pero las más comunes son:

- Es muy caro desarrollar las máquinas o los robots necesarios para la automatización.
- No existen sensores viables del proceso que se desea automatizar.
- Es más barato que lo realice un ser humano.

B. Controladores lógicos programables (PLC)

Son los dispositivos de cálculo y control que comandan el proceso. En los últimos años han tenido un gran desarrollo permitiendo controles más avanzados y flexibles sin requerir instalaciones complejas, suelen ser usados en la ingeniería para automatizar diferentes procesos industriales, tales como el control de máquinas en las empresas.



Figura 1 Familia PLC Simatic S7.

Fuente: www.siemenssupply.com [Recuperado 05/10/2016]

- **Tipos de controladores lógicos programables (PLC)**

- **Compactos:**

Este tipo de autómatas, llamados en el mercado Nano autómatas, permiten programar hasta 48 E/S. Son autómatas potentes a nivel de programación y comunicaciones con equipos externos, sobre todo terminales de diálogo. Están pensados para aplicaciones pequeñas que disponen desde cálculos matemáticos básicos, hasta calendario real con la posibilidad de activar variables en función del tiempo. Casi todos disponen de la posibilidad de utilizar algunas de sus entradas como entradas rápidas para el uso de contadores rápidos cabe recalcar que tienen un límite inferior en la frecuencia de trabajo comparados con los de gama alta.

- **Modulares:**

Los autómatas modulares son los que permiten una ampliación de sus posibilidades, es decir; se amplían con los diferentes módulos que se necesiten. Estos módulos suelen ser de:

- Entradas digitales o analógicas
 - Salidas
 - E/S combinadas
 - Comunicaciones
 - Entradas especiales (termocuplas o PT100)

El autómata se compone de un chasis principal, en el cual están alojados los diferentes módulos, éstos son limitados, principalmente en número, en función de las características del PLC o CPU (Unidad Central).

Dentro de una gama de un mismo autómata pueden existir varios tipos de Chasis o Racks (los chasis son desde 2 hasta 10 posiciones), Unidades centrales (CPU), Fuentes de alimentación y módulos especiales.

- **Lenguajes de programación**

Estos lenguajes permiten al ingeniero crear un programa en el PLC, utilizando una sintaxis ya establecida.

Como los PLCs se han ido desarrollando en los últimos años, estos lenguajes también se han desarrollado. Los actuales lenguajes tienen nuevas y más versátiles instrucciones de programación, en consecuencia los programas de los PLCs pueden procesar los datos más fácilmente.

Adicionalmente a las nuevas instrucciones de programación, el desarrollo de nuevos módulos de entradas y salidas también ha obligado a cambiar las instrucciones existentes, en la actualidad hay cuatro tipos de lenguajes de programación de PLCs que son los más utilizados, estos son:

- **Lenguaje Ladder**

Este lenguaje también es conocido como lenguaje de contactos, es el lenguaje gráfico más conocido dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), ya que se basa en los circuitos eléctricos de control clásico. Los principales símbolos de este lenguaje están normados según la NEMA y son utilizados por los fabricantes de PLCs.

- **Lenguaje Booleano (Lista de Instrucciones)**

Este lenguaje usa la sintaxis del álgebra de boole para la creación del lenguaje de control. Consiste en hacer una lista de instrucciones haciendo uso de operadores del álgebra de boole (AND, OR, NOT, etc.) para la creación del programa de control.

- **Diagrama de funciones**

Es un lenguaje gráfico que permite al ingeniero programar elementos (bloque de funciones) de forma que están interconectados. Utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. No requieren conectar una bobina a la salida del bloque, porque a la salida del bloque se le asigna una salida del PLC o una marca.

Este tipo de programación es fácil de usar a ingenieros acostumbrados a utilizar circuitos digitales.

– **Diagrama de comando funcional gráfico para pasos de transición (GRAFCET)**

El grafcet es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar.

Un GRAFCET está compuesto de:

Etapa: define un estado en el que se encuentra el automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.

Acción asociada: define la acción que va a realizar la etapa, por ejemplo conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.

Transición: es la condición o condiciones que, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el GRAFCET de una etapa a la siguiente, por ejemplo un pulsador, un detector, un temporizador, etc.

• **Interfaz humano máquina (HMI)**

Es un dispositivo que realiza la interacción entre el operador y la unidad de control, las interfaces más sencillas son los pulsadores, selectores, luces pilotos, todas las máquinas poseen estos dispositivos. En la actualidad las interfaz gráficas se pueden realizar en dispositivos como son: paneles, visualizadores, pantallas táctiles o touch screen o sobre un ordenador que se conoce como Workstation. En la Figura se muestra desde las interfaces más sencillas hasta una pantalla táctil.



Figura 2 Pantalla táctil marca Siemens.

Fuente:<http://www.solostocks.com.ar/venta-productos/otros-instrumentos-analisis-medicion/distribuidor-siemens-hmi-touch-panel-ventas-argentina-863670>: [Recuperado

5/10/2016]

Una interfaz HMI debe ser útil y significativa para los operadores, esto quiere decir que se debe adaptar a sus requisitos y capacidades.

- **Funciones de la interfaz HMI**

- **Monitoreo**

Es obtener y mostrar datos de la máquina. Estos datos pueden mostrarse como números, textos o gráficos para que permitan al operador interpretar de manera rápida y concisa cabe recalcar que en esta función el operador no podrá realizar ningún cambio en la configuración de la máquina.

- **Supervisión**

Junto con la función de monitoreo permite al operador ajustar las condiciones de trabajo del proceso de la máquina,

- **Alarmas**

Permite al operador estar al tanto de eventos dentro del proceso, estas alarmas se reportan cuando el proceso se sale de control, actualmente los nuevos controladores tienen la opción de guardar estos eventos en una base de datos de un servidor.

- **Históricos**

Los históricos permiten muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una herramienta importante para la optimización, corrección y mejoramiento del proceso.

- **Controladores de temperatura**

Un controlador de temperatura como su nombre lo dice es un dispositivo utilizado para la regulación de una variable de proceso "Temperatura". Un controlador como tal posee una entrada para conectar un sensor el cual mide la variable de proceso y una salida para controlar un elemento actuador.

El uso de controladores de temperatura en la industria radica en la no participación continua de un operador para la regulación de un proceso con el objetivo de mejorar la eficiencia del mismo.

A la entrada del controlador de temperatura se conecta un sensor de temperatura pueden ser termocuplas o RTD (detector de temperatura por

resistencia) , compara la temperatura medida con la temperatura de control deseada, o punto de consigna (set point) , y proporciona una salida a un elemento de control el cual activa uno o varios actuadores. El controlador de temperatura solo es una parte del sistema de control, y para ser utilizado de manera adecuada debe ser seleccionado según un análisis previo. Los puntos críticos a ser considerados para la selección de un controlador de temperatura adecuado deben ser:

1. Tipo de entrada (termopar, RTD)
2. Rango de temperatura
3. Tipo de salida (relé electromecánico, SSR, salida analógica)
4. Algoritmo de control necesario (ON / OFF, proporcional, PID)
5. Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite)

- **Tipos de control**

Dependiendo del sistema a ser controlado, se puede seleccionar para llevar a cabo el proceso cualquiera de los siguientes:

Controlador de temperatura ON / OFF

En este tipo de controlador la señal de control del mismo solo se considera dos estados, encendida o apagado, sin estados medios en la señal de control. Los controladores de temperatura ON / OFF cambian de estado la salida 1 / 0 cuándo la variable de control leída por el sensor supera o es menor al set point. En los casos en que este ciclo se produce rápidamente, y para evitar daños a los pre actuador o actuadores que se controlan, se añade un diferencial de encendido y apagado, o "ventana de histéresis". Este diferencial requiere que la temperatura exceda del punto de ajuste de la ventana de histéresis por una cierta cantidad antes de que se active o desactive de nuevo el actuador. Un diferencial ON/OFF impide que se produzcan cambios rápidos de conmutación en la salida del controlador. El control ON/OFF se utiliza generalmente cuando un control preciso no es necesario, en los sistemas que no pueden soportar cambios frecuentes de encendido/apagado, donde la masa del sistema es tan grande que las temperaturas cambian muy lentamente, o para una alarma de temperatura. Un tipo especial de control ON/OFF utilizado para la alarma es un

controlador de límite. Este controlador utiliza un relé de enclavamiento, que se debe restablecer manualmente, y se utiliza para cerrar un proceso cuando una determinada temperatura es alcanzada.

Controlador de temperatura PID

Ofrece una combinación del proporcional con control integral y derivativo. Este tipo de control combina control proporcional con dos ajustes adicionales, que ayuda a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema. Estos ajustes, integral y derivativo, se expresan en unidades basadas en el tiempo, también se les nombra por sus recíprocos, RATE y RESET, respectivamente. Los términos proporcional, integral y derivativo se deben ajustar de manera individual mediante diferentes métodos como Ziegler Nichols, lugar geométrico de la raíz, etc. Este controlador es el más preciso y estable de los dos tipo de controladores, y se utiliza comúnmente en sistemas que tienen una masa relativamente pequeña, que son aquellos que reaccionan rápidamente a cambios en la energía añadida al proceso. Se recomienda en sistemas en los que la carga cambia a menudo y no se espera que el controlador lo compense automáticamente, debido a los frecuentes cambios en el punto de referencia, la cantidad de energía disponible, o la masa a controlar. En el mercado se ofrece un número de controladores que calculan y ajustan automáticamente sus valores del controlador PID para que coincida con el proceso. Estos son conocidos como controladores autoajustables.

- **Tamaños DIN estándar**

Dado que los controladores de temperatura se montan generalmente en un panel de instrumentos o de mando, el panel deberá ser adaptado para acomodar el controlador de temperatura. Con el fin de proporcionar una capacidad de intercambio entre los controladores de temperatura en caso de daños, la mayoría de los controladores de temperatura están diseñados para tamaños estándar DIN. Los tamaños DIN de controladores de temperatura se muestran a continuación.

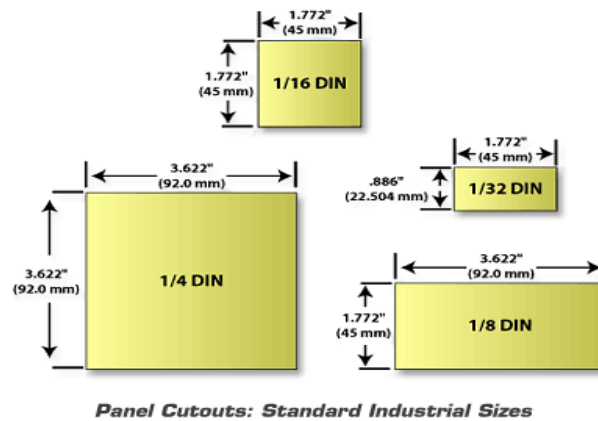


Figura 3 Tamaños norma DIN.

Fuente: <http://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html> [Recuperado 5/10/2016].

2.2.2. Tipos de máquinas de inyección

Los principales tipos de máquinas de inyección son:

- Máquinas de inyección con pistón.
- Máquinas con sistema de pre plastificación.
- Máquinas de inyección con tornillo alternativo.
- Máquinas de inyección multicolor.
- Máquinas de inyección de espuma rígidas.
- Máquinas de coinyección.
- Máquinas giratorias.
- Máquinas con diferentes disposiciones en sus unidades.
- Máquinas de moldeo por inyección reactiva.

Dado que el desarrollo de este estudio es sobre una máquina de inyección con tornillo alternativo se describirá este tipo.

- **Máquinas de inyección con tornillo alternativo:**

Este tipo de máquinas se caracterizan por realizar la fusión e inyección del material mediante un tornillo alternativo, el cual alterna su función de plastificar e inyectar el material fundido. Esta disposición representa el avance más significativo en el moldeo por inyección de plásticos y es el sistema más utilizado hoy día.

El movimiento de giro del tornillo transporta al material hacia adelante mientras va fundiendo, al tiempo que gira, retrocede para dejar espacio, delante de él, al material fundido. Cuando se tiene el volumen necesario para la inyectada, el tornillo deja de girar y se mueve axialmente hacia adelante, actuando como pistón para inyectar el material dentro del molde.

Este sistema permite fundir el material muy rápido, controlar de manera más adecuada la temperatura y la cantidad de material a inyectar, permite obtener un fundido más homogéneo y mejora la reproducibilidad en la obtención de piezas de buena calidad.

La versatilidad de este sistema permite utilizar tornillos cortos para inyectar materiales entrecruzables. (Águila, 2010).

2.2.3. Características principales de una máquina de inyección

Las características de una máquina de inyección permiten definir su funcionalidad para distintos tipos de materiales, moldes, condiciones de trabajo, etc. Estas características son especificadas por el fabricante y entre las principales se tiene:

- Capacidad de cierre
- Dimensiones del molde
- Recorrido de apertura del molde
- Capacidad de inyección
- Presión de inyección
- Capacidad de plastificación
- Velocidad de inyección

2.2.3.1. Capacidad de Cierre

Es una de las más importantes, especifica la fuerza máxima en toneladas que se opone a la presión de inyección y evita que el molde se abra.

La transmisión de presión al emplear termoplásticos es compleja, debido a que no se transmite en porcentajes iguales en todas las direcciones, en este sentido la presión transmitida al molde es menor que la aplicada por el tornillo de inyección, la presión depende fundamentalmente del tipo de material y la temperatura de plastificación, si la viscosidad del polímero es baja se incrementa la eficiencia de transmisión de la presión. (Águila, 2010).

Cuando el material ingresa al molde se enfría continuamente, por lo que la temperatura en los extremos es inferior a la de la zona de entrada, produciéndose cambios en la presión, por esto es comprensible que la presión varíe en función del molde empleado. *La fuerza de apertura real (F), debida a la presión en el molde será el producto de la presión media en el molde (Pm) por el área proyectada de la pieza (Ap).* (Águila, 2010)

$$F = Pm * Ap \quad (3)$$

El valor de la presión media es la que ejerce el material sobre las paredes de la cavidad y la cual trata de abrir el molde. (Águila, 2010)

Para el control de la presión se emplean sensores en el molde, para según esto regular la presión de inyección.

El área proyectada se define como el área de las piezas y cavidades del molde que mira el inyector, perpendicular a la unidad de cierre, en función de esto la presión variara de acuerdo a las características de la pieza como espesor, profundidad, longitud, etc.

Esta característica se debe tener en cuenta al emplear distintos moldes, tomando en cuenta que el área proyectada por el producto no sea mayor al área máxima proyectada de la máquina, los valores de área proyectada deben utilizarse con seguridad para una determinada fuerza de cierre.

Para plásticos con buena fluidez, tales como PS, PE, PP, etc. se ha estimado con bastante aceptación que la presión promedio (Pm) de la resina dentro del molde es aproximadamente 250 kg/cm² para aquellos materiales de baja fluidez tales como CA, PC, PVC rígido, etc. de aproximadamente 300 kg/cm². (Águila, 2010).

2.2.3.2. Dimensiones del molde

Las dimensiones del molde vienen dadas por la distancia entre el plato fijo y el móvil en cuanto al espesor, la altura y ancho se limitan por el tamaño de los platos.

En máquinas de cierre mecánico se especifica un espesor máximo y mínimo dentro de los cuales se puede instalar un molde sin dificultad, mientras en máquinas hidráulicas la fuerza de presión se ajusta sin necesidad de modificaciones al espesor del molde.

El espesor del molde varía también en función del tamaño y tipo de sistema de extracción que disponga la máquina, además las platinas porta moldes son especificadas en longitud por el fabricante y poseen distintos agujeros para la sujeción de diversos moldes, los cuales se encuentran estandarizados para uso en distintas máquinas.

2.2.3.3. Recorrido de apertura del molde

Es la distancia recorrida por el plato móvil en la apertura y cierre del molde, esta característica limita la longitud máxima de la pieza en dirección paralela al eje de la máquina, esta longitud depende también del tipo de molde, conicidad de la pieza y flexibilidad del material.

2.2.3.4. Capacidad de inyección

Se definen dos magnitudes de esta característica una capacidad real y otra teórica. La teórica es el volumen calculado máximo de material que es desplazado por el pistón de inyección a lo largo de su carrera máxima sin que ocurran fugas. Esta capacidad se puede calcular bajo la siguiente relación:

$$Ci = \frac{\pi}{4} * d^2 * L \quad (4)$$

Dónde:

Ci: Capacidad de inyección en cm^3 .

d: Diámetro del tornillo en cm.

L: Recorrido máximo del tornillo en cm.

La magnitud real por otro lado es una especificación del peso máximo que puede ser inyectado por el tornillo bajo carga máxima, este peso depende de:

- Carrera del pistón o tornillo.
- Diámetro del pistón o tornillo.
- Densidad aparente de los gránulos.

En ciertas máquinas es posible regular esta capacidad variando los pistones o tornillos, es posible aumentar la capacidad de inyección instalando un tornillo de mayor diámetro, según la siguiente fórmula.

$$\text{Presión de inyección } (P_i) = \frac{\text{Fuerza de inyección } (F_i)}{\text{Área del pistón o tornillo } (A)} \quad (5)$$

Esta magnitud generalmente se expresa en gramos de poliestireno.

2.2.3.5. Presión de inyección

Es la fuerza máxima que puede ejercer el tornillo sobre el material por unidad de área, esta presión es la que permite el ingreso del material al molde. Las máquinas modernas permiten la regulación de la presión hasta un nivel máximo especificado por el fabricante.

Es común emplear sensores de presión en la cavidad del molde en lugar de en el cilindro, debido a que facilita el control de esta variable. Además en el proceso de inyección es habitual ajustar el tornillo para que una cantidad pequeña de material se quede entre el tornillo y el barril, esto permite aplicar más efectivamente la presión de inyección y sostenimiento, y es conocido como colchón o amortiguamiento del tornillo. (Águila, 2010).

2.2.3.6. Capacidad de plastificación

Es la cantidad máxima de materia prima que puede ser fundida para tiempo, en otras palabras es la cantidad de material plastificado o fundido que el tornillo puede eyectar rotando a su máxima velocidad en un tiempo determinado, se expresa en gramos o kilogramos de poliestireno por hora.

2.2.3.7. Velocidad de inyección

Es una medida de la cantidad de material que entra en el molde durante el tiempo de llenado, se expresa como el volumen de material que la máquina inyectora por unidad de tiempo, cuando el tronillo se mueve a su máxima velocidad. Esta característica es de vital importancia para obtener piezas de calidad, ya que indica que tan rápido ingresa el material al molde.

El valor de esta medida depende de la potencia necesaria y utilizada en la inyección, y es posible estimarla con la siguiente relación:

$$Vel\ de\ Inyección = \frac{Capacidad\ de\ inyección\ calculada\ [cm^3]}{Tiempo\ de\ Inyección\ t_i\ [s]} \quad (6)$$

Esta velocidad no coincide con la velocidad a la que se desplaza el pistón o tornillo, ya que el desplazamiento del material a través de la boquilla siempre es menor. (Águila, 2010).

La velocidad de inyección aumenta en función de tamaño de la máquina, *con máquinas de preplastificación y de tornillo alternativo al emplearse más eficazmente la potencia, pueden lograrse mayores velocidades de inyección.* (Águila, 2010).

2.3. Proceso de moldeo por inyección

Como se explicó anteriormente los plásticos se pueden dividir en dos grupos: termoplásticos y termoestables, los termoplásticos al aplicar calor se

reblandecen y funden, al enfriarse se vuelven a endurecer, este proceso se puede repetir varias veces. En cambio los materiales termoestables se funden cuando se someten a temperatura la primera vez para inyectarse en el molde, al enfriarse se endurecen y molifican, no se vuelven a fundir al aplicarse calor nuevamente.

El aplicar calor a un material termoplástico para fundirlo, se lo conoce como plastificado, este material plastificado puede hacerse fluir al aplicar presión y llenar un molde, el material se solidifica y toma la forma del molde, a este proceso se lo conoce como moldeo por inyección.

El principio básico del moldeo por inyección comprende las 3 operaciones siguientes:

- Elevar la temperatura del plástico a un punto donde el material pueda fluir aplicando presión. Esto se hace elevando la temperatura y masticando los gránulos sólidos del material hasta formar una masa con una viscosidad y temperatura uniforme. Esto se hace dentro del barril de la máquina mediante un tornillo, el cual genera el trabajo mecánico que conjunto con el calor plastifican el material, en otras palabras el tornillo plastifica, mezcla y transporta el material.
- Solidificación del material en el molde cerrado, una vez el material plastificado en el barril, se transfiere (inyección) a través de una boquilla, que conecta el barril hacia los canales del molde hasta llegar a las cavidades donde el material toma la forma del producto final.
- Extracción de la pieza, después de mantener el material bajo presión en el molde y una vez enfriado, el molde se abre y el material tiene la forma deseada.

2.3.1. Inyectora con tornillo alternativo

Los tornillos utilizados en una unidad de inyección con tornillo alternativo son de un acero muy duro el cual esta pulido o cromado para

facilitar el movimiento del material. El tornillo se encarga de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y transportarlo en la parte delantera hasta juntar la cantidad suficiente e inyectarlo en el molde.

2.3.1.1. Función del tornillo

El fin del tornillo consiste en transportar gránulos fríos de la tolva y compactar el material en la zona de transición, eliminar gases y plastificar el material y bombearlos a la zona de bombeo. Su principal objetivo es obtener una mezcla homogénea en temperatura, composición y color. Además el tornillo alterna con la función de inyección, actuando como un pistón para inyectar el material plastificado y mantenerlo a una presión para evitar que se salga del molde hasta que se enfríe.

2.3.1.2. Accionamiento del tornillo

El sistema motriz que hace que el tornillo se mueva, utiliza un motor hidráulico. Este motor acciona una serie de engranes, los cuales realizan el movimiento de giro del tornillo. El tornillo está unido por un extremo a un pistón hidráulico, el cual mueve al tornillo de forma axial (hacia adelante) durante la etapa de inyección.

2.3.1.3. Partes del tornillo

La anchura del filote es 10% del diámetro. El juego radial (holgura) es el espacio que queda entre el barril y la hélice del tornillo.

La longitud del tornillo (L) es la longitud de la sección del mismo que esta fileteada pero a no ser que la longitud total del tornillo sea efectiva, en otras palabras el ultimo filete este debajo de la tolva. En el caso que la tolva esta adelantada la longitud efectiva es la distancia entre la garganta de la tolva y la parte delantera del tornillo.

La longitud efectiva del tornillo (L) dividida para el diámetro del mismo se le conoce como relación L/D , la cual es un criterio importante para el diseño de tornillos.

Generalmente se utilizan valores de L/D de 18 o 20 y pueden llegar a 28 o 30 en los casos de barriles con desgasificación, a continuación se presenta ventajas de tornillos largos:

- Cuanto mayor sea la relación L/D , más calor por esfuerzo puede generarse uniformemente en el plástico.
- En un tornillo más largo se tiene una trayectoria de flujo más larga con casi el mismo rendimiento que un tornillo más corto, pero con menos variaciones de presión en el fundido.
- Una mayor relación L/D , habrá más espacio para el mezclado y por lo tanto se obtendrá una mezcla más homogénea.

Relaciones L/D mayores tienen más área de fricción. Relaciones por encima de $24/1$ no justifican el costo y mantenimientos adicionales.

En resumen el tornillo se divide en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación, cada una de las cuales depende de la otra para realizar el proceso asignado.

2.3.2. Zona de alimentación

En la zona de alimentación se reciben los gránulos de la tolva y se los transporta hacia adelante por el canal del tornillo. Esta zona debe estar a una temperatura adecuada para lograr que el plástico se pegue más al barril y sea movido hacia adelante por las hélices del tornillo, sin llegar a una temperatura que forme un tapón o se bloquee el material en la entrada, para prevenir que ocurra esto se utiliza bajas temperaturas en esta zona del barril o enfriar al circular agua alrededor de la garganta de la tolva. Los principales factores que afectan al transporte de los gránulos en esta zona son:

- Profundidad de canal.

- Grado de fricción entre gránulos-tornillo y entre gránulos-barril.
- Angulo de la hélice.

2.3.2.1. Profundidad de canal

Es una característica importante en cuanto a la producción y la calidad de plastificado. Mientras más profundo sea el canal de la zona de alimentación mayor será el volumen transportado y se obtendrá una mayor producción. Sin embargo, hay que tener en cuenta otras consideraciones al seleccionar la profundidad del canal. Una de estas consideraciones es la velocidad de corte en la zona de bombeo, todo material tiene una velocidad máxima, por encima de esta velocidad se degradan. Cuanto más sensible sea al calor dicho material, más baja es la velocidad de corte.

Es mejor disminuir la velocidad de corte a base de aumentar la profundidad del canal en vez de reducir la velocidad de giro del tornillo. Sin embargo al aumentar la profundidad del canal, se aumenta la componente negativa del flujo de presión. Flujo de presión, varía con el cubo de la profundidad del canal. Canales profundos significan relativamente poca circulación dentro del mismo, mal mezclado y baja difusividad térmica, lo que da como resultado una menor homogeneidad del plastificado. En términos generales mientras más profundo es el canal, más rápido es el decremento en la producción por el marcado aumento en el flujo de presión.

2.3.2.2. Grado de fricción entre gránulos-tornillo y entre gránulos-barril

Si el coeficiente de fricción entre los gránulos de plástico y el tornillo y el coeficiente de fricción entre el plástico y el barril fueran idénticos, no existiera flujo de material y el material giraría como un aro dentro de los canales del barril. Para que el material se mueva para adelante, el material debe pegarse más al barril que hacia al tornillo. Cuanto mayor sea la

diferencia de fricción entre el material plastificado y el barril, mayor será la producción.

El comportamiento del coeficiente de fricción del poliestireno (PS) en función de la temperatura del barril se reduce drásticamente al utilizar temperaturas cercanas a 190 °C. Basado en esto no es recomendable calentar en exceso la zona de alimentación, ya que se reducirá este coeficiente y se formaría un tapón bloqueando la alimentación del material. Este compartimento no es generalizable para todos los plásticos ya que existen algunos plásticos como el polietileno (PE), en el cual el uso de altas temperaturas en dicha zona favorece la alimentación del material.

Debido a la fricción el tornillo siempre está más pulido que el barril y, de forma natural, la temperatura del barril es más alta que la del tornillo. Como consecuencia, el material se adhiere al barril cuando se reblandece y resbala sobre el tornillo, posteriormente el material se compacta y empieza a fundirse en la zona de transición. En la mayoría de tornillos con zona de dosificación, la zona de alimentación tiene una longitud de aproximadamente la mitad de la longitud total.

2.3.2.3. Ángulo de la hélice

Este ángulo afecta al transporte y a la eficiencia del mezclado del material en el canal. La experiencia práctica ha demostrado que una hélice que avanza una vuelta por cada diámetro nominal del tornillo da excelentes resultados.

2.3.2.4. Zona de transición o compresión

El material pasa hacia la zona de transición o compresión, donde se compacta y empieza a plastificarse. En esta zona la profundidad de canal decrece de forma continua y se completa la compresión y fusión del material. Cuando el material entra es granular y lleno de aire, cuando sale por la boquilla, es un fluido viscoso. En esta zona el aire que queda entre los

gránulos del material se desprende al fundirse el material, debido al calor suministrado por las resistencias al barril y a la energía mecánica producida por el giro del tornillo. Generalmente esta sección es la cuarta parte de la longitud total.

En un tornillo de relación $L/D = 20/1$, esta zona de compresión es de 5 vueltas. La relación de compresión se define por el coeficiente entre el volumen de una vuelta del tornillo, en la zona de alimentación y el volumen de la última vuelta en la zona de dosificación. En la práctica, los tornillos de inyección en la zona de dosificación tienen una anchura de canal constante, se suele definir como relación de compresión a la relación de profundidades del canal. Las relaciones de compresión más comunes en tornillos usados en el moldeo por inyección varían entre $2/1$ y $5/1$.

2.3.2.5. Zona de dosificación o bombeo

A medida que se funde el material este se transporta hacia la zona de dosificación o bombeo, la cual actúa como una bomba que alimenta el material totalmente plastificado, hacia la parte delantera del tornillo donde se acumulará para ser inyectado. En esta zona el material debe estar totalmente plastificado con temperatura y composición homogénea.

En esta zona de dosificación es necesaria una presión relativamente alta para obtener un mejor mezclado del material. Esta presión alta se logra al imponer restricciones al flujo del plástico fundido en esta zona (reducción de la profundidad del canal o uso de cabezas mezcladoras) o al aumentar la viscosidad del plástico mediante la disminución de la temperatura en ese punto.

2.3.2.6. Velocidad de giro del tornillo

El moldeo por inyección solo utiliza el tornillo durante un tiempo fijo, no continuamente como en el proceso de extrusión. El tornillo gira para llenar el barril con el material plastificado necesario para la siguiente

inyección. Parte del calor requerido para plastificar el material proviene del giro del tornillo. Para que el material alcance cierta temperatura, el tornillo puede girar a altas velocidades o a bajas velocidades. Velocidades más lentas funden más lento el material, debido a que se reduce el esfuerzo de corte ejercido por el tornillo pero se logra una mejor calidad de fundido al hacer la mezcla más homogénea.

La rapidez con que se funde el material puede incrementarse, al aumentar la velocidad de giro del tornillo. Sin embargo este incremento en la rapidez produce un fundido de menor calidad, debido a un mayor flujo y un menor tiempo de residencia. Velocidades lentas de giro de tornillo producen temperaturas más homogéneas en el fundido además de reducir el desgaste del tornillo.

2.3.2.7. Presión de retroceso

La otra variable independiente es la contrapresión o presión de retroceso. Cuando el tornillo gira y va moviéndose hacia atrás durante la etapa de plastificación, este va contrarrestando la presión que ejerce el pistón de inyección. La presión generada en el plástico, debido a la presión del aceite contra la que actúa el tornillo al retroceder, se conoce como presión de retroceso y es controlada mediante una pequeña válvula localizada en la parte trasera del pistón de inyección. Alta presión de retroceso aumenta la homogeneidad del fundido pero disminuye la producción debido a que aumenta el flujo de presión y el de filtración. En otras palabras altas presiones de retroceso mejoran las propiedades de las piezas como control dimensional, contracción, alabeo y dispersión del color. Sin embargo altas presiones aumentan el tiempo que el tornillo termina de plastificar aumentando el tiempo del ciclo.

2.3.3. Ciclo de inyección

El ciclo de inyección es una secuencia de operaciones para la producción de una pieza y comprende las siguientes etapas:

- Se cierra el molde vacío y se tiene lista la cantidad de material plastificado a ser inyectado dentro del barril. El molde se cierra en 3 etapas: primero con alta velocidad y una baja presión, se detiene antes de que hagan contacto las platinas. Segundo se mueve a baja velocidad y baja presión hasta hacer contacto las platinas del molde y como último a alta presión hasta alcanzar la fuerza de cierre necesaria para que el molde no se abra en la etapa de inyección.
- Se realiza la inyección al introducir el material mediante el tornillo, el cual cumple la función de un pistón trasladando el material a través de la boquilla hacia el molde (cavidades), con una velocidad y presión de inyección determinada.
- Una terminada la etapa de inyección, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde antes que se solidifique para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento, esto es conocido como presión de sostenimiento y normalmente se aplica valores menores a los de inyección, una vez comienza a solidificarse el material puede librarse la aplicación de la presión de sostenimiento.
- El material dentro del molde continúa enfriando y transfiriendo su calor hacia el molde de donde el calor es disipado por el líquido de enfriamiento. Una vez finalizado el enfriamiento el molde se abre y el mecanismo de expulsión extrae la pieza, el molde se cierra y se repite el ciclo.

2.3.3.1. Tiempos de duración del ciclo de inyección

Con el tiempo que tarda un ciclo de producción se determina el tiempo necesario para producir un número determinado de piezas, costo y rentabilidad de la producción.

En las diferentes etapas del ciclo de inyección, las etapas de cierre y apertura del molde efectúan consumiendo el mismo tiempo. La suma de estas dan el tiempo de ciclo en vacío, esta es una constante de la máquina indicada por el fabricante, en la cual se indica el número máximo de ciclos en vacío por minuto y el tiempo de duración del ciclo.

Para conocer el tiempo total del ciclo, se debe calcular los tiempos de las etapas restantes, estos tiempos varían en función de la pieza a moldear según su forma, características y el tipo de plástico. Estas etapas son:

- Tiempo de inyección.
- Tiempo de aplicación de la presión de sostenimiento.
- Tiempo de plastificación.
- Tiempo de solidificación o enfriamiento.

2.3.3.2. Tiempo de inyección

Es el tiempo necesario para que el material plastificado pase desde el barril a las cavidades del molde al estar al ejercer la presión de inyección. Este tiempo es del 5 a 25% del ciclo total.

Para calcular el tiempo de inyección se debe conocer la capacidad de inyección la cual es indicada por el fabricante. La capacidad de inyección se define como el volumen del material que la máquina puede desplazar por segundo y viene dado en gramos de poliestireno por segundo.

Mientras mayor sea la velocidad de inyección se obtendrá una mejor calidad del producto. Se realizaron algunos trabajos experimentales en los cuales se buscó calcular con mayor precisión el tiempo óptimo de inyección, se ha considerado que el material entra a la cavidad y comienza a enfriarse al hacer contacto con las paredes del molde, reduciendo el espacio a través

el cual fluye el material. En estos estudios se ha observado que la capa de material solidificado es uniforme en todos los puntos en el instante en el que el material alcanza las partes extremas de la cavidad y en que el espesor del material solidificado s es proporcional al tiempo de llenado del molde. Esto puede expresarse como:

$$S = Ct^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

Dónde:

S → espesor de la capa de material [mm]

t → tiempo [s]

C → Constante de solidificación o enfriamiento

2.3.3.3. Tiempo de presión de sostenimiento

Es el tiempo de parada del tornillo una vez finalizado la etapa de inyección. En este tiempo el tornillo actúa como pistón y empuja material adicional en el molde para evitar la compensar la contracción del plástico al enfriarse. Generalmente se aplica una presión más baja que la de inyección.

Los valores de tiempo y presión de sostenimiento depende de los siguientes factores: diámetro y longitud de los canales de entradas, tipo de material y forma de la pieza, etc. Estos valores aproximados se obtienen por la experiencia de moldeo de piezas y los valores definitivos se realizan por tanteo. Se debe tener en cuenta que mantener esta presión una vez ya la pieza se solidificó aumenta el ciclo del proceso innecesariamente y se gasta energía extra.

2.3.3.4. Tiempo de plastificación (t_f)

Es el tiempo necesario para la plastificación del material. Este tiempo se calcula a partir del peso de la pieza, incluidos canales de alimentación y de la capacidad de plastificación en $Kg/Hora$.

La capacidad de plastificación depende del tipo de material y de la presión de retroceso aplicada. Esta capacidad de plastificación es dada por el fabricante para diversos materiales.

Una vez conocido el peso de la pieza, tipo de material y la capacidad de plastificación de la máquina, el tiempo de plastificación se obtiene con la siguiente formula:

$$t_f = \frac{\text{Peso de la pieza con canales [gr]}}{\text{Capacidad de plastificación [gr/s]}} [s] \quad (9)$$

2.3.3.5. Tiempo de solidificación o enfriamiento (t_s)

Es el tiempo comprendido desde que termina de aplicar la presión de sostenimiento y el comienzo de la apertura del molde. Es el tiempo requerido para asegurar que el material se haya solidificado y poder ser extraído sin deformaciones. Este tiempo es el más largo del ciclo y puede alcanzar del 50 al 85% del ciclo total.

Este tiempo se lo puede calcular con exactitud, se lo determina en función de la experiencia en el moldeo de una pieza similar o por ensayos.

Este tiempo mínimo de enfriamiento puede calcularse a partir de la fórmula de Ballman y Shusman:

$$t_s = \frac{-S^2}{2\pi\varphi} \ln \left[\frac{\pi(T_x - T_m)}{4(T_e - T_m)} \right] \quad (10)$$

Dónde:

t_s → Tiempo mínimo de enfriamiento [s]

S → Espesor máximo de la pieza [cm]

φ → Difusividad térmica del material [cm^2s^{-1}]

T_x → Temperatura a la que se extrae la pieza [°C]

T_m → Temperatura del molde [°C]

T_e → Temperatura del material fundido [°C]

La difusividad térmica es una medida de la rapidez con la el calor se transmite de un punto a otro en un cuerpo. La difusividad térmica viene dada por:

$$\varphi = \frac{k}{\rho C_p} \quad (11)$$

Dónde:

k → *coeficiente de conductividad térmica*

ρ → *densidad*

C_p → *calor específico a presión constante*

El tiempo de enfriamiento, para una determinada condición de temperatura, se incrementa con el cuadrado del espesor de la pieza, en otras palabras para un espesor determinado, una temperatura baja del molde y una temperatura alta de extracción de la pieza se reduce considerablemente el tiempo de enfriamiento.

En resumen la secuencia de las diferentes etapas del ciclo de inyección comprende: primero, el tiempo en que cierran las dos mitades del molde, a continuación se comienza a inyectar el material en el molde, una vez terminado el tiempo de inyección, el material comienza a solidificar y se comienza a ejercer la presión de sostenimiento. Una vez terminado este tiempo se inicia la plastificación del material para el siguiente ciclo y finalmente se abre el molde para liberar la pieza, una vez se termine el tiempo de enfriamiento. En algunas máquinas es posible realizar movimientos superpuestos es decir la función de apertura y cierre de molde a la vez que se realiza el plastificado del material, con esto el tiempo de ciclo se reduce. La etapa de solidificación se termina antes de concluir la de plastificación y en consecuencia la apertura del molde comienza antes que el tornillo deje de girar.

En las máquinas en las que no se pueden realizar movimientos superpuestos pueden presentarse dos tipos de ciclos totales. El primero en la que etapa de solidificación termina justa al mismo tiempo que la etapa de plastificación por lo que el tiempo total del ciclo (t_t) es:

$$t_t = t_v + t_i + t_s \quad (12)$$

Dónde:

$t_t \rightarrow$ tiempo total del ciclo

$t_v \rightarrow$ tiempo en vacío

$t_i \rightarrow$ tiempo de inyección

$t_s \rightarrow$ tiempo de sostenimiento

En el segundo tipo de ciclo es en la que la etapa de solidificación termina antes que la fase de plastificación donde el tiempo total del ciclo es:

$$t_t = t_v + t_i + t_p + t_s \quad (13)$$

Donde se añade el tiempo de parada t_p .

C A P Í T U L O 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se analizará las variables involucradas en el proceso de inyección también se estudiará el funcionamiento de los sensores y actuadores de la máquina, a continuación se determinarán las condiciones de trabajo de la máquina, posteriormente se dimensionará el PLC a utilizar y finalmente con toda esta información se realizará los diagramas de flujos del proceso (Anexo F).

3.1. Estado de la máquina Van Dorn previo a la repotenciación

Un análisis previo de la máquina involucra el estado mecánico, eléctrico e hidráulico, para determinar las condiciones en las que se encuentra, los componentes reutilizables, los que requieran mantenimiento o reparación y los que sea necesario el reemplazo.

3.1.1. Características generales de la máquina

La máquina de inyección Van Dorn es de tornillo alternativo, es decir posee un tornillo el cual además de mezclar el material para su fundición actúa como pistón al momento de la inyección, las características generales más importantes de la máquina se resumen en la tabla 5, sin embargo características más específicas de cada componente, consumo tipo, etc., se detalla en un apartado posterior en el cual se analiza el estado de la máquina.

Tabla 5

Características generales de máquina Van Dorn.

Máquina Van Dorn				
Volumen máximo de inyección	Volumen de tolva alimentación	Alimentación eléctrica de la máquina	Potencia de la bomba principal	Tamaño máximo de molde
2.5 Lt	126 Lt	Trifásica 220VAC	20 HP	47cm x 54 cm



Figura 4 Bomba hidráulica máquina Van Dorn.

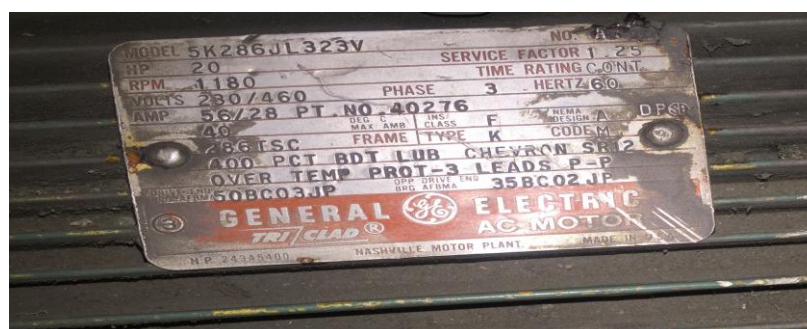


Figura 5 Placa de bomba hidráulica de máquina Van Dorn.

Las dimensiones de la máquina se detallan en el anexo B, es importante recalcar que el volumen de materia prima máximo que puede ser cargado a la máquina corresponde al volumen de la tolva de alimentación (126Lt); el esquema general de la ubicación de las principales secciones de la máquina se pueden observar en el diagrama de bloques de la figura 6. El

consumo de energía eléctrica se detalla en cada componente de la máquina en siguientes apartados.

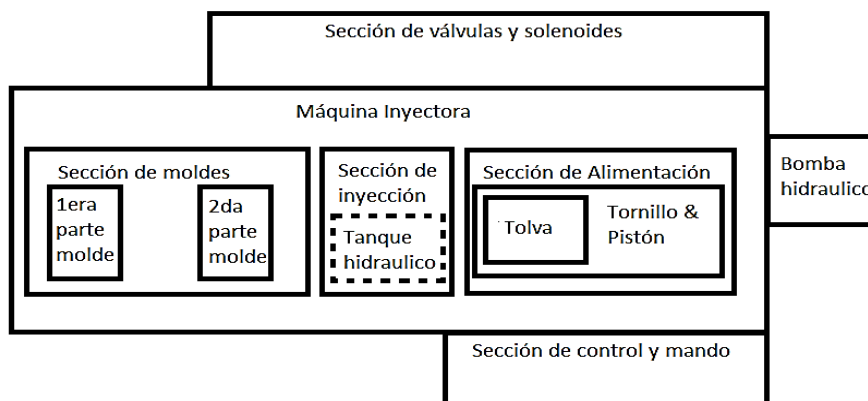


Figura 6 Esquema de bloques ubicación de secciones principales máquina Van Dorn (Vista Aérea).

3.1.2. Estado mecánico e hidráulico máquina de inyección

Determinar el estado mecánico de la máquina involucra en primera instancia verificar que todas las piezas y estructuras se encuentren en buen estado, sin signos de rupturas o daños que impidan su correcto funcionamiento. Para esto se realizó una inspección minuciosa de las partes de la máquina. Los resultados se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6

Estado mecánico general de la máquina.

Componente	Descripción	Estado
Estructura metálica	Chasis de máquina Van Dorn.	Se encuentra en buen estado, no presenta roturas o daños significativos, presenta manchas de aceite y desgaste propio de uso.
Mangueras para cable eléctrico.	Manguera para protección de cableado.	Se encuentran sin señales de daños, todas las mangueras se

Continua 

Mangueras hidráulicas.

Mangueras para flujo de aceite hidráulico.

encuentran instaladas sin cables expuestos o roturas.

Se encuentran en buen estado, todas las mangueras se encuentran conectadas no hay presencia de fugas.



Figura 7 Máquina de inyección Van Dorn (vista general).

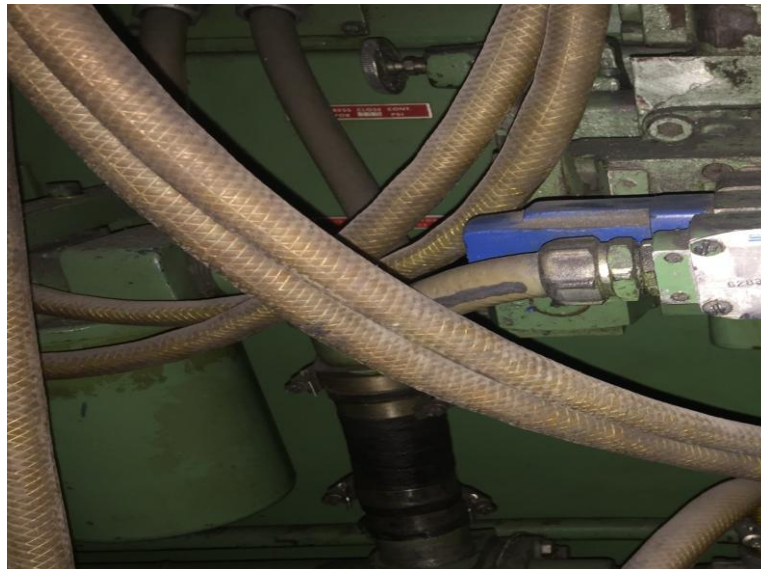


Figura 8 Mangueras hidráulicas máquina Van Dorn.



Figura 9 Mangueras eléctricas máquina Van Dorn.

Para verificar los mecanismos de la máquina fue necesaria la activación de los actuadores que accionan el movimiento, y de esta manera comprobar que no haya trabas ni problemas en el recorrido de las partes mecánicas que intervienen en el proceso. En este proceso se comprueba además el estado de las válvulas y sus solenoides, ya que de existir daños o problemas en estos componentes no existiría flujo de aceite necesario para activar los actuadores y mover los mecanismos.

Los resultados de las pruebas realizadas se detallan a continuación, en un conjunto de tablas específicas para cada actuador y mecanismo.

- **Mecanismo para giro de tornillo de inyección**

Para verificar el mecanismo del tornillo de inyección fue necesaria la activación de un solenoide (solenoides X) el cual acciona una válvula que a su vez permite el giro de un motor hidráulico que mueve el tornillo para la alimentación y mezcla de material.

Tabla 7

Estado válvula y actuador involucrados en mecanismo para giro de tornillo.

Válvula involucrada			
Tipo	Marca	Consumo eléctrico	Estado
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	110V 0.83A 33W	Al momento de la activación manual del solenoide (X), la válvula actuó como debería conmutando a la posición que permite el paso de aceite al motor y haciéndolo girar.
Actuador involucrado			
Tipo	Marca	Potencia	Estado
Motor hidráulico con torque variable 250 rpm a 2000psi	Vickers	67.8 KW	El motor gira de manera correcta, no se observan trabas ni daños en el recorrido y funcionamiento.



Figura 10 Válvula involucrada en giro de tornillo (solenoide X).

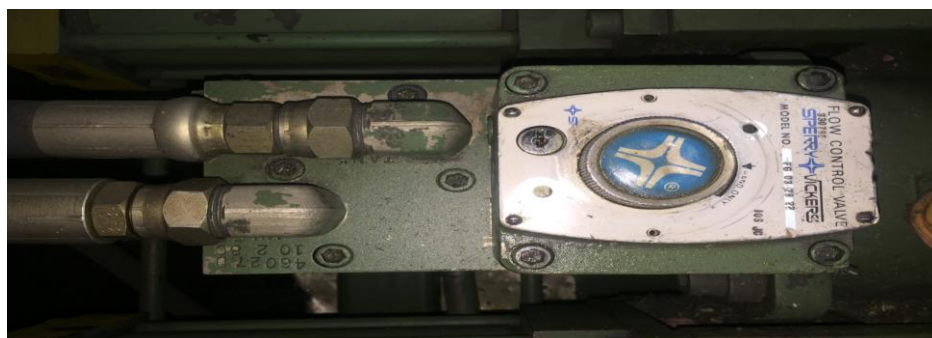


Figura 11 Actuador involucrado en mecanismo de giro de tornillo (motor hidráulico)

Terminada las pruebas se determina que el mecanismo para giro del tornillo de alimentación y mezcla esta en correcto estado, no presenta problemas y requiere nada más que limpieza y lubricación, la parte hidráulica se encuentra funcional y es factible su utilización para la repotenciación.

- **Mecanismo para inyección (movimiento axial de tornillo pistón)**

Para la comprobación del mecanismo de inyección se realizó la activación manual de la válvula y actuador involucrados, para así detectar posibles inconvenientes o daños. La válvula involucrada para este mecanismo está compuesta por dos solenoides (solenoides H y L), las cuales permiten el movimiento del pistón en dos direcciones axiales. Adicionalmente para la inyección al momento de incrementarse la presión es necesaria la activación del solenoide F, la cual incrementa el flujo de aceite hidráulico para incrementar la presión de inyección.

Tabla 8

Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de inyección.

Válvula involucrada			
Tipo	Marca	Consumo eléctrico	Estado
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	Dos solenoides 110V 0.83A 33W	Al momento de la activación del solenoide (H) la válvula conmutó de posición, expulsando al pistón. De la misma manera al activar el solenoide (L) se observa que el pistón se contrae. La válvula se encuentra en buen estado físico y funcional.
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	110V 0.83A 33W	Al momento de la activación del solenoide (F) la válvula conmutó generando mayor fuerza en el momento de inyectar material.
Actuador involucrado			
Tipo	Marca	Recorrido	Estado
Pistón tornillo hidráulico de doble efecto	Van Dorn	30 cm	El pistón se mueve correctamente, no se observan trabas ni daños en el recorrido y funcionamiento.



Figura 12 Válvula involucrada en mecanismo de inyección (solenoide H)



Figura 13 Válvula involucrada en mecanismo de inyección (solenoide L).



Figura 14 Válvula involucrada en mecanismo de inyección (solenoide F)



Figura 15 Actuador involucrado en mecanismo de inyección (tornillo/pistón hidráulico).

El mecanismo para inyección se encuentra en buen estado, requiere de limpieza y lubricación, no presenta trabas ni daños considerables, es factible su utilización en el proceso de repotenciación.

- **Mecanismo de apertura y cierre de molde**

En el mecanismo de apertura y cierre de molde están involucrados una válvula hidráulica de activación eléctrica y un pistón de doble efecto, el cual realiza el movimiento axial de apertura y cierre.

Tabla 9

Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de apertura y cierre de molde.

Válvula involucrada			
Tipo	Marca	Consumo eléctrico	Estado
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	Dos solenoides 110V 0.83A 33W	Al momento de la activación manual del solenoide (C) la válvula conmutó de posición, expulsando al pistón y cerrando el molde, de la misma manera al activar el solenoide (N) se observa que el pistón se contrae cerrando el molde. La válvula se encuentra en buen estado físico y funcional.
Actuador involucrado			
Tipo	Marca	Recorrido	Estado
Pistón hidráulico de doble efecto	Van Dorn	64 cm	El pistón se mueve de manera correcta, no se observan trabas ni daños en el recorrido y funcionamiento.



Figura 16 Válvula involucrada en mecanismo de apertura/cierre de molde (solenoide C y N).



Figura 17 Actuador involucrado en mecanismo de apertura/cierre de molde (pistón hidráulico).

El mecanismo para apertura y cierre de molde se encuentra en buen estado, requiere de limpieza y lubricación, no presenta trabas ni daños considerables, es factible su utilización en el proceso de repotenciación.

- **Mecanismo para salida y entrada de expulsor**

En el mecanismo de salida y entrada están involucrados una válvula hidráulica de activación eléctrica y un pistón de doble efecto, el cual realiza el movimiento axial de salida y entrada. Para la comprobación del mecanismo fue necesaria la activación manual de los solenoides, para así producir movimiento del actuador y detectar problemas y fallas.

Tabla 10

Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo de entrada y salida de expulsor.

Válvula involucrada			
Tipo	Marca	Consumo eléctrico	Estado
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	Dos solenoides 110V 0.83A 33W	Al momento de la activación manual del solenoide (R) la válvula conmutó de posición, expulsando al pistón y sacando el expulsor, de la misma manera al activar el solenoide (RT) se observa que el pistón se contrae metiendo al expulsor. La válvula se encuentra en buen estado físico y funcional.
Actuador involucrado			
Tipo	Marca	Recorrido	Estado
Pistón hidráulico de doble efecto	Van Dorn	10 cm	El pistón se mueve de manera correcta, no se observan trabas ni daños en el recorrido y funcionamiento.



Figura 18 Válvula involucrada en mecanismo de entrada / salida de expulsor (solenoides R y RT).



Figura 19 Actuador involucrado en mecanismo de expulsor de piezas (pistón hidráulico).

El mecanismo para entrada y salida de expulsor se encuentra en buen estado, requiere de limpieza y lubricación, no presenta trabas ni daños considerables, es factible su utilización en el proceso de repotenciación.

- **Mecanismo para ajuste de tamaño de molde**

Para verificar el mecanismo de ajuste de molde fue necesaria la activación de dos solenoides (A y B) las cuales accionan una válvula que a su vez permite el giro de un motor hidráulico que ajusta la posición de ambas partes del molde para adaptarla a distintos espesores. El estado de la válvula y el motor se muestran a continuación:

Tabla 11

Estado de válvula y actuador involucrados en mecanismo para ajuste de tamaño de molde.

Válvula involucrada			
Tipo	Marca	Consumo eléctrico	Estado
Activación eléctrica 4/3 retorno al centro por resorte (3000PSI)	Vickers	Dos solenoides 110V 0.83A 33W	Al momento de la activación manual de la solenoide (A), la válvula conmuta haciendo girar el motor para aumentar el espacio entre ambas partes del molde, de igual manera al accionar la solenoide (B) la válvula permitió el giro del motor en sentido contrario reduciendo el espacio entre las partes del molde.

Continúa 

Actuador involucrado			
Tipo	Marca	Potencia	Estado
Motor hidráulico con torque variable 250 rpm a 2000psi	Vickers	67.8 KW	El motor gira de manera correcta, no se observan trabas ni daños en el recorrido y funcionamiento.

Terminadas las pruebas se determina que el mecanismo para ajuste del tamaño del molde está en correcto estado, no presenta problemas y requiere nada mas de limpieza y lubricación, la parte hidráulica se encuentra funcional y es factible su utilización para la repotenciación.



Figura 20 Válvula involucrada en mecanismo de ajuste de molde (solenoides A y B).



Figura 21 Actuador involucrado en mecanismo de ajuste de molde (motor hidráulico).

3.1.3. Estado eléctrico máquina de inyección

Determinar el estado eléctrico de la máquina involucra realizar una evaluación de cuantos elementos lo componen y verificar que todos se encuentren en buen estado sin signos de rupturas, daños y corto circuitos que impidan su correcto funcionamiento y operación. Para esto se realizó una inspección minuciosa de los componentes eléctricos de la máquina, empezando por los elementos de protección y componentes de circuitos auxiliares. Los resultados se describen en las siguientes tablas.

- **Componentes eléctricos de protección y circuitos auxiliares**

Tabla 12

Componentes de protección y auxiliares eléctricos de la máquina.

Breakers

Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Protección
Breaker Siemens	1	3	40	440 AC	3VT	General

Fusibles

Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Protección
Fusetron	9	1	15	600 AC	FRS15	R. Inyección
KTK	4	1	10	125 AC	15	Ct. Temp
KTK	2	1	15	600 AC	15	R. Inyección
KTK	2	1	15	125 AC	15	Control

Relés de Estado Sólido

Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Auxiliar
SSR B-C	2	1	5	120 AC	520	Outs Ct. Temp

Continua 

Contadores

Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Auxiliar
Siemens	3	3	B: 1 C: 35	B: 110 AC C: 600 AC	CIRUS	R. Inyección
Durakool	1	3	30	600 AC	926903	R. Inyección

R. Inyección: Resistencias calefactoras Inyección

Ct. Temp: Controladores de Temperatura

B: Bobina

C: Contacto

B-C: Barber-Colman

La tabla 12 muestra los componentes eléctricos usados para protección de la máquina y los contactos auxiliares utilizados para las salidas de control. Para verificar el correcto funcionamiento de los fusibles y breakers se realizaron pruebas de continuidad - resistencia sobre cada elemento y para la verificación de funcionamiento de los relés de estado sólido y los contactores fue necesaria la activación de sus bobinas previa alimentación de los componentes, de esta manera se comprobó que no existen fallos ni problemas en los elementos que componen la parte de protección en el sistema eléctrico de la máquina.

Los resultados de las pruebas realizadas se detallan en la tabla descrita a continuación.

Tabla 13

Estado de componentes de protección y auxiliares eléctricos de la máquina.

Breakers

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Breaker Siemens 3VT	Tablero de control	Operativo, sin daños

Continua 

Fusibles		
Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Fusetron	Tablero de control	Operativo, sin daños
KTK	Tablero de control	Operativo, sin daños
KTK	Tablero de control	Operativo, sin daños
KTK	Tablero de control	Operativo, sin daños
Contactores		
Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Siemens	Tablero de control	Operativo, sin daños
Durakool	Tablero de control	Operativo, sin daños
B-C: Barber-Colman		

Una vez chequeados los elementos de protección eléctricos se procedió a realizar un análisis del cableado de la máquina, para esto se realizó una inspección visual de la integridad física del cableado así como de sus recubrimientos aislantes, además se realizaron pruebas de continuidad para descartar posibles cortes de los conductores y se revisaron los terminales para descartar que se encuentren sulfatados. Los resultados de las pruebas se muestran a continuación.

Tabla 14

Estado del cableado de la máquina.

Control

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Cable AWG 18	Tarjetas electrónicas	Cable sulfatado
Cable AWG 18	Botoneras-Tarjetas	Cable en mal estado
Terminales	Tablero de control	Sulfatados
Borneras	Enlaces etapa control	En buen estado

Potencia

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Cable AWG 16	Tarjetas-Contactores	Cable en mal estado
Cable AWG 14	Contactores-Solenoides	Cable en mal estado

Continua 

Terminales	Tablero de potencia	Sin terminales
Borneras	Enlaces etapa potencia	En buen estado

El análisis del cableado dejó como resultado que los conductores de la máquina se encontraban en mal estado, los conectores y terminales sulfatados pero bien dimensionados de acuerdo al consumo de energía de los componentes de la máquina, razón por la cual se reemplazará el cableado eléctrico que enlaza los diferentes componentes del tablero de control y la parte de potencia y también se colocará terminales adecuados para las borneras de acople. Las borneras de acople se encuentran en buen estado de manera que se reutilizarán para la repotenciación de la máquina inyectora.

Como elementos auxiliares se analiza también el estado de las resistencias térmicas para fundición de material, que constituyen los actuadores del control de temperatura instalado, se dispone de 13 resistencias localizadas en el recorrido del cilindro, las cuales fueron alimentadas directamente para comprobar su funcionamiento. De las pruebas realizadas se determinó que todas las resistencias se encuentran en estado funcional por lo que se pueden emplear en el proceso de repotenciación. Las características y ubicación de estos componentes se resumen a continuación:

Tabla 15

Características de resistencias calefactoras.

Resistencias Calefactoras

Componente	#	Consumo	Ubicación	Tipo	Función
Resistencia genérica	1	250W 240VAC	Cilindro de Inyección Zona 1	Anillo	Inyección punta
Resistencia genérica	4	650W 240VAC	Cilindro de Inyección Zona 2	Anillo	Inyección sección 2
Resistencia	4	650W	Cilindro de	Anillo	Inyección

Continua 

genérica	240VAC	Inyección Zona 3		sección 3
Resistencia genérica	4 650W 240VAC	Cilindro de Inyección Zona 4	Anillo	Inyección sección 4

Zona 1 Accionada directo por el controlador.
 Zona 2 Accionada por contactor auxiliar.
 Zona 3 Accionada por contactor auxiliar.
 Zona 4 Accionada por contactor auxiliar.



Figura 22 Fusibles para solenoides máquina Van Dorn.



Figura 23 Contactores control de temperatura máquina Van Dorn.



Figura 24 Breaker general máquina Van Dorn.

- **Controladores electrónicos de la máquina**

Continuando con el análisis del estado eléctrico de los componentes de máquina se procedió con la verificación de operatividad de controladores. Las tablas siguientes muestran los controladores presentes en la máquina de inyección así como sus características, ubicación y posteriormente su estado.

Tabla 16

Controladores electrónicos de la máquina.

Controladores Proceso

Componente	#	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Función
Van Dorn	22	Desconocido	120 AC	s/n	Control General

Controladores Temperatura

Componente	#	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Función
Barber-Colman	4	5	120 AC	520 SSR	Control Temperatura



Figura 25 Placas controladoras dañadas de máquina Van Dorn.



Figura 26 Controlador de temperatura máquina Van Dorn.

Para determinar el estado de los controladores se inspeccionó cada placa, verificando signos de quemaduras o daños, considerando también que se produjo una explosión en las placas del controlador general que dejó inoperativa a la máquina. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 17

Estado de controladores de la máquina.

Controladores Proceso

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Van Dorn Tarjetas Electrónicas Control	Tablero de control	Corto-circuitadas En mal estado NO existen repuestos en el mercado local

Controladores Temperatura

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Barber-Colman	Tablero de control	Funcionan 2, 2 Corto-circuitadas Se necesita reemplazo según características

Debido a daños eléctricos en máquina tanto las tarjetas electrónicas de control general como 2 de los controladores de temperatura requieren ser reemplazados.

- **Panel principal botoneras**

Se inspecciono cada botón y pulsador midiendo continuidad en sus contactos, los botones de mando se encuentran ubicados en el tablero principal, el estado de cada componente se resume en la siguiente tabla:

Tabla 18

Estado de componentes eléctricos en panel principal.

Tipo	Estado Funcional	Estado Físico
Pulsador emergencia tipo Hongo	Bueno	Requiere limpieza
Pulsador encendido Bomba tipo rasante	Bueno	Requiere limpieza
Pulsador inyección tipo rasante	Bueno	Requiere limpieza
Pulsador giro tornillo tipo rasante	Bueno	Requiere limpieza
Selector de modo 3 posiciones sin retorno al centro	Bueno	Requiere limpieza
Selector abrir cerrar molde 3 posiciones con retorno al centro	Bueno	Requiere limpieza
Selector subir bajar noyos	Bueno	Requiere limpieza
Selector expulsor piezas 3 posiciones con retorno al centro	Bueno	Requiere limpieza
Selector ajuste cierre del molde 3 posiciones con retorno al centro	Bueno	Requiere limpieza



Figura 27 Botones panel principal máquina Van Dorn.

- **Sensores**

Los sensores que se encontró instalados en la máquina de inyección corresponden a ocho interruptores fines de carrera, los cuales se emplean para indicar la posición de actuadores y estructuras de seguridad de la máquina, cada interruptor fue inspeccionado realizando pruebas de continuidad en sus contactos y accionándolos manualmente. La ubicación y estado de cada uno de los sensores fines de carrera se resume a continuación.

Tabla 19

Estado y ubicación de sensores fines de carrera.

Nombre	Ubicación / Tipo	Estado
Fin de carrera 5ls	Puerta molde de inyección / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones
Fin de carrera 7ls	Cilindro tornillo de inyección / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones
Fin de carrera 9ls	Parte posterior pistón cierre y apertura molde / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones
Fin de carrera 8ls	Parte posterior de la puerta de inyección / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones.
Fin de carrera 13ls	Parte posterior de la puerta de inyección / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones
Fin de carrera 6ls	Parte posterior pistón	Componente en

Continua 

	cierre y apertura molde / Tipo Vástago	buenas condiciones
Fin de carrera 11ls	Parte posterior pistón cierre y apertura molde / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones
Fin de carrera 1ls	Puerta posterior molde de inyección / Tipo Vástago	Componente en buenas condiciones

Los sensores fin de carrera se encontraron en buen estado con necesidad únicamente de mantenimiento preventivo (limpieza y lubricación), por lo que es posible emplearlos en el proceso de repotenciación.



Figura 28 Sensores fines de carrera máquina Van Dorn.

Adicionalmente la máquina dispone de cuatro termocuplas para el sensado de temperatura en el recorrido del cilindro donde se funde el material, las características de estos sensores se indican en la siguiente tabla:

Tabla 20

Características de termocuplas instaladas.

Controladores Proceso					
Componente	#	Temperatura	Alimentación	Tipo	Función
Termocuplas	4	-50 a 600 °C	120 AC	J	Sensado de Temperatura de inyección

Para determinar el estado de las termocupas se realizó su conexión a un controlador, verificando que el valor sentido corresponda al medido por un instrumento (termómetro digital), además se verifico el estado físico, comprobando que no hay indicios de quemaduras, roturas o daños.

Tabla 21

Estado de termocupas instaladas.

Control

Componente	Ubicación en la Máquina	Estado
Termocupas	Cilindro de Inyección	Funcionales

3.2. Definición del objetivo de diseño

Una vez analizado el estado de la máquina previo a la repotenciación y haber definido que componentes de la máquina pueden ser reutilizados, se define el problema y los objetivos de diseño para la repotenciación de la máquina inyectora Van Dorn.

Dado que la parte mecánica e hidráulica se encuentra funcional y en correcto estado, no es necesaria modificación alguna en este aspecto. Por otra parte la falla del controlador principal y los problemas en el cableado y componentes electrónicos exigen un reemplazo, es así que el proceso de diseño empezara por el análisis de variables involucradas en el proceso, para así poder dimensionar un controlador (PLC) el cual permita recibir y procesar dichas señales para gobernar los pre actuadores y actuadores en función de las necesidades y características del proceso. En el diseño se abarcará el recableado de solenoides y la instalación de relés que permitan su activación empleando como señal de control las salidas del PLC, se dimensionará brakers y dispositivos de protección para controlador y relés, mientras que para actuadores se conservara los componentes ya instalados.

El tipo de control que se empleará para gobernar los actuadores hidráulicos es un control automático de activación y desactivación, en función de las señales de los sensores de la máquina y de los tiempos del proceso que deberán ser configurados por el ingeniero a cargo. Para el interfaz humano máquina se conservarán los botones en estado funcional del panel principal y se instalara una nueva interfaz gráfica digital, para la configuración de los tiempos del proceso de vital importancia.

Finalmente se reemplazará los controladores de temperatura dañados, y se re-cableará su salida hacia los actuadores, la alimentación y circuitos de protección de esta parte se mantendrá ya que se encuentra en estado funcional.

Es importante recalcar que con el conocimiento teórico adquirido del funcionamiento de la máquina y el proceso de inyección en sí y conociendo además las variables involucradas se podrá definir el algoritmo para la secuencia del proceso, el cual será cargado en el controlador, para su validación y pruebas.

3.3. Análisis de variables del proceso

Realizando una inspección de la máquina y basados en el marco teórico se determinó las siguientes variables involucradas del proceso: temperatura del cilindro, presión de cierre de molde, tiempo de plastificación, tiempo de inyección, tiempo de sostenimiento, tiempo de enfriamiento y tiempo de descompresión.

3.3.1. Temperatura del cilindro

Para plastificar el material es necesario que el cilindro este a una temperatura elevada de acuerdo al material, en el caso de TECNITROQUEL S.A. el material utilizado es polipropileno, la temperatura de fusión de este es de 170 °C (Tabla 3, Capítulo 2), para controlar la temperatura en el cilindro se

tienen de lo siguiente: 13 resistencias divididas por zonas, 4 termocuplas tipo J y 4 controladores de temperatura.

3.3.2. Presión de cierre de molde

La presión de cierre de molde es la presión ejercida sobre el molde para evitar que se abra durante el proceso de inyección y el proceso de sostenimiento, esta presión se la regula mediante una válvula reguladora de presión.

3.3.3. Tiempo de plastificación

Es el tiempo que se demora en fundirse el material, se lo determinará experimentalmente.

3.3.4. Tiempo de inyección

Es el tiempo que inyectará el volumen de carga hacia el molde comprimiendo el material, este tiempo se calcula en base a la cantidad de material a inyectar, se lo configurará en el HMI.

3.3.5. Tiempo de sostenimiento

Es el tiempo en el cual inyecta más material en la fase de enfriamiento para contrarrestar la contracción de las piezas moldeadas en el capítulo 2 se presentó como calcular dicho tiempo, lo cual será implementado en el PLC y configurado en el HMI.

3.3.6. Tiempo de enfriamiento

Es el tiempo necesario para enfriar la pieza y para su posterior extracción, este tiempo se lo determina de manera experimental y se lo ingresara a través del HMI.

3.3.7. Tiempo de descompresión

Es el tiempo necesario para succionar el plástico en el cilindro cuando se haya cumplido un proceso y así evitar que el plástico fundido se riegue, se lo configurará a través del HMI

En la siguiente figura se describe el proceso en un diagrama de bloques.

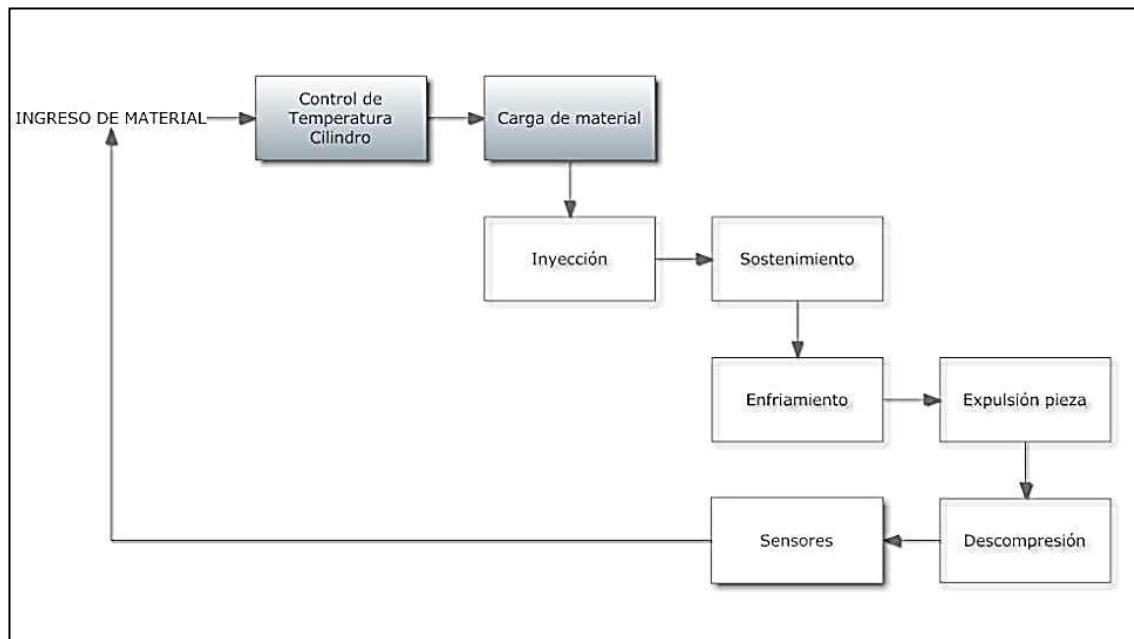


Figura 29 Diagrama de bloque del proceso.

3.4. Análisis de sensores y actuadores de la máquina

3.4.1. Sensores de temperatura

Existen 4 sensores de temperatura, los cuales corresponden a termocuplas tipo J, cada una de las termocuplas se encuentra ubicada en el recorrido del cilindro, de manera que permiten medir la temperatura de 4 zonas de izquierda a derecha en la figura 30, se divisa la Zona 1 donde se encuentra una sola resistencia o también conocida como la boquilla, Zona 2 donde se encuentran un grupo de 4 resistencias, Zona 3 otro grupo de 4 resistencias y finalmente la Zona 4 con otras 4 resistencias de calentamiento, en forma de anillo localizadas secuencialmente, desde el la boquilla hasta llegar al final del cilindro cerca a la tolva de alimentación. Las características de las resistencias térmicas se detallan en el capítulo dos del presente estudio.

Los valores medidos por las termocuplas son empleados por cuatro controladores para mantener la temperatura en los rangos necesarios para el procesamiento de determinado polímero.

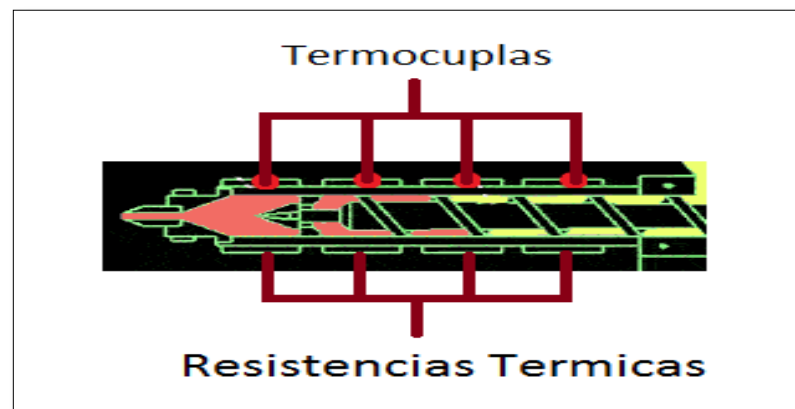


Figura 30 Posición de termocuplas máquina Van Dorn.

Se mantendrán dos controladores de temperatura que se encuentran en correcto estado y dos se reemplazarán, la especificación de los controladores a instalarse se especificará en apartados siguientes.

3.4.2. Sensores fines de carrera

Existen varios fines de carrera en toda la máquina usados para sensor posiciones de los diferentes pistones de la máquina y de seguridad (puertas), en la siguiente tabla se detallan los sensores de la maquina:

Tabla 22

Sensores fin de carrera.

Nombre	Ubicación	Función
Fin de carrera 5ls	Puerta molde de inyección.	Seguridad para parar el proceso en caso que se abra la puerta.
Fin de carrera 7ls	Cilindro tornillo de inyección.	Indica el volumen a llenar el tornillo para la inyección.
Fin de carrera 9ls	Parte posterior pistón cierre y apertura molde.	Indica cuando cerrar el molde con una presión baja para evitar fisuras o roturas en el molde.
Fin de carrera 8ls	Parte posterior de la puerta de inyección.	Indica que el pistón de expulsión de pieza esta retraído.
Fin de carrera 13ls	Parte posterior de la puerta de inyección.	Indica que el pistón de expulsión de pieza esta salido.
Fin de carrera 6ls	Parte posterior pistón cierre y apertura molde.	Indica que el molde está abierto.
Fin de carrera 11ls	Parte posterior pistón cierre y apertura molde.	Indica que el molde está cerrado.
Fin de carrera 1ls	Puerta posterior molde de inyección.	Seguridad para parar el proceso en caso que se abra la puerta.

3.4.3. Pre-actuadores solenoides

La máquina Van Dorn posee un sistema hidráulico, los actuadores como motores hidráulicos y pistones son controlados por electroválvulas direccionales, en la siguiente tabla se detalla los solenoides de las electroválvulas, el apéndice se encuentra en el diagrama hidráulico (Anexo D).

Tabla 23

Solenoides.

Nombre	Función
Solenoide N	Abre el molde (retrae el pistón del molde).
Solenoide C	Cierra molde (extrae el pistón del molde).
Solenoide R	Expulsa la pieza enfriada (extrae pistón de expulsión de pieza).
Solenoide RT	Retrae pistón de expulsión de pieza.
Solenoide A	Ajuste de cierre de molde mediante un motor hidráulico que acciona un tornillo sinfín (apertura).
Solenoide B	Ajuste de cierre de molde mediante un motor hidráulico que acciona un tornillo sinfín (cierre).
Solenoide H	Mueve el cilindro donde está la mezcla para hacer inyectada (extrae pistón).
Solenoide L	Mueve el cilindro donde está la mezcla pero en sentido contrario (retrae pistón).
Solenoide F	Al activarla incrementa el torque del sistema hidráulico.
Solenoide D	Al activarla disminuye la presión para evitar fisuras en el cierre de molde.
Solenoide K	Evita que inyecte plástico durante la fase carga de plástico.
Solenoide X	Mueve el tornillo del cilindro para homogenizar la mezcla y cargar el cilindro mediante un motor hidráulico.

3.4.4. Actuadores

La máquina de inyección Van Dorn cuenta con pistones y motores hidráulicos que le permiten ejecutar las distintas etapas del proceso, cada uno de estos elementos se constituyen como los actuadores o elementos de acción final y se describen en la siguiente tabla:

Tabla 24

Descripción actuadores.

Actuador	Descripción
Pistón Hidráulico de tornillo.	Este elemento permite el movimiento axial del tornillo al momento de la inyección es gobernado por una electroválvula 4/3.
Pistón hidráulico de eyector de piezas.	Este elemento permite el movimiento axial del mecanismo de expulsión de piezas una vez que se hayan enfriado en el molde; es gobernado por una electroválvula 4/3.
Pistón hidráulico para apertura y cierre de molde.	Este elemento permite abrir cerrar el molde al momento de la inyección y expulsión de pieza, está gobernado por una electroválvula 4/3.
Motor hidráulico para ajuste de molde.	Este elemento permite el ajuste del mecanismo que sostiene las dos partes del molde, para ajustarlo en función del espesor de este, puede girar en dos sentidos y está gobernado por una electroválvula 4/3.
Motor hidráulico para giro de tornillo e inyección	Este elemento permite el giro circular del tronillo, posee un mecanismo hidráulico para variar su torque, actúa junto con el pistón de inyección para ingresar el material fundido al molde y está gobernado por una electroválvula 4/3.
Resistencias calefactoras.	Estos elementos permiten la fundición del material, son gobernadas por controladores independientes y se encuentran localizadas a lo largo del recorrido del tornillo pistón de alimentación.

3.5. Diseño de control de temperatura

Para el control de temperatura necesario en la etapa de fundición de material en el cilindro se empleará 4 controladores independientes, los cuales gobernarán 13 actuadores correspondientes a resistencias térmicas que calentarán el cilindro hasta la temperatura necesaria para la inyección; estos actuadores se dividen en cuatro grupos, el primer grupo lo forma una resistencia (250W) ubicada en la boquilla del cilindro, los tres últimos se forman de 4 resistencias (650W) cada grupo conectadas en paralelo y se ubican en la trayectoria del cilindro; los tres últimos grupos se accionan mediante el uso de un contacto auxiliar y el primero lo acciona directamente el controlador. Se dispone además de 4 termocuplas tipo J para la medición de temperatura y retroalimentación al controlador. Como se describió en el estado previo de la máquina todos los sensores se encuentran en estado funcional, mientras que de los 4 controladores 2 se encuentran dañados, por lo que es necesario su reemplazo.

El tipo de control que se implementará es ON-OFF, debido a que no es necesario mantener el valor de consigna o set point en un valor demasiado exacto, sino por el contrario el proceso requiere manejar un rango de temperaturas cercano al de fundición de cada material, ya que un polímero no tiene características constantes en toda su estructura. El esquema general del control se muestra a continuación.

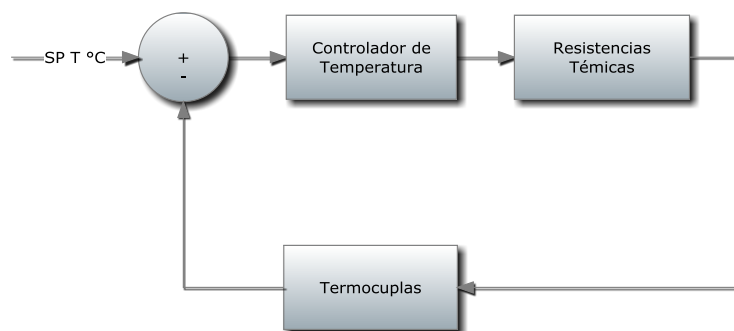


Figura 31 Diagrama de control de temperatura diseñado.

Es así que en función de las necesidades analizadas se instalará dos controladores de reemplazo a los que se encuentran en mal estado, las características de estos dispositivos se muestran en la siguiente tabla.



Figura 32 Controlador de temperatura KX7N.

Tabla 25

Características controladores de temperatura de reemplazo.

Marca	Modelo	Alimen.	Tipo de entrada	Tipo de salida	Tipo de control
Hanyoung nux	KX9N	110-220 VAC	Termocuplas	Relé	ON - OFF
				Pulsos (PWM)	PID
			RTD	Corriente	
				PL2	
				Kpt100	
				Pt100	

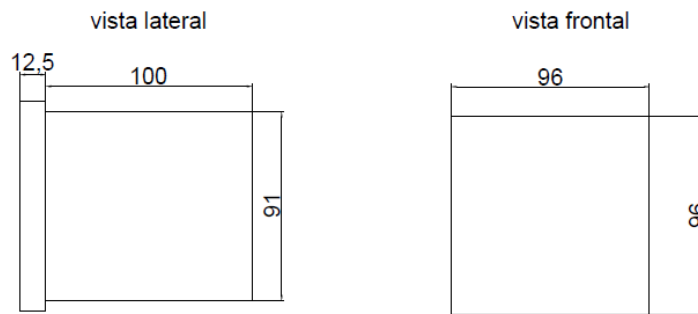


Figura 33 Dimensiones controlador KX7N.

3.6. Selección del controlador lógico programable (PLC)

Una vez identificado las entradas y salidas de la inyectora de plásticos Van Dorn se procede a seleccionar el PLC que se usará para la repotenciación de la misma. Se tiene un total de 22 entradas y 12 salidas que deberán ser procesadas, para dar funcionalidad a la máquina, las entradas corresponden a sensores fines de carrera, por lo que es factible el uso de corriente directa y las salidas permitirán la activación de solenoides de corriente alterna, por lo que se considera la colocación de relés para el acondicionamiento de señal, y así emplear un controlador de entradas y salidas de corriente directa DC.

El PLC S7 1200 DC/DC/DC CPU 1214C dispone de 14 entradas y 10 salidas digitales, sin embargo es posible su expansión empleando el módulo de entradas/salidas 6ES7 223-1BL32-0XB0 de 16 entradas y 16 salidas DC/DC, por lo que se escoge este controlador y módulo de expansión considerando que se reservarán 13 entradas y 14 salidas digitales, además de dos entradas analógicas las cuales no se emplearán. Los componentes se aprecian en las siguientes figuras.



Figura 34 PLC S7-1200.

Fuente: www.siemenssupply.com [Recuperado el 15/12/2016]

Tabla 26

Características generales PLC Siemens S7-1200.

Función	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	110x100x75
Memoria de trabajo	50KB
Memoria de carga	2MB
Memoria remanente	2KB
E/S integradas locales Digitales	14 entradas / 10 salidas
E/S integradas locales Analógicas	2 entradas
Tamaño memoria imagen de proceso	1024 bytes entradas y 1024 salidas
Área de marcas	8192 bytes
Ampliación con módulos	8
Signal board	1
Módulos de comunicación	3 (ampliación lado izquierdo)
PROFINET	Típico: 10 días / mínimo: 6 días a 40°C
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 us/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0.1 us/instrucción
Tipo	DC/DC/DC
Alimentación	24 VDC
Voltaje Entradas DI	24 VDC
Voltaje Salidas DO	24 VDC
Corriente de salida	0.5 A transistor



Figura 35 Modulo de E/S Siemens.

Fuente: www.siemenssupply.com [Recuperado el 15/12/2016]

Tabla 27

Características generales módulo entradas/salidas Siemens.

Función	Expansión CPU 1214C
Modelo	6ES7 223-1BL32-0XB0
Entradas / Salidas Digitales	16
Tipo	Digital I/O
Alimentación	24 VDC
Voltaje Entradas DI	24 VDC
Voltaje Salidas DO	24 VDC
Corriente de salida	0.5 A transistor

Para la activación de los solenoides se usaran relés de estado sólido LYCA012Y de 24 VDC de entrada y salida 24-230 VAC una corriente máxima de $I=10A$:

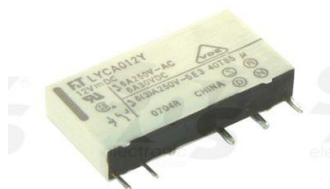


Figura 36 Relé estado sólido.

Fuente: www.siemenssupply.com [Recuperado el 15/12/2016]

Tabla 28

Características relés de estado sólido LYCA12Y**Relés de Estado Sólido**

Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Auxiliar
SSR Siemens	9	1	B: 7mA C: 6A	B: 12 DC C: 250 AC	LYCA012Y	Outs PLC
B: Bobina C: Contacto						

La asignación de entradas y salidas del PLC a las variables del proceso se describe en la siguiente tabla.

Tabla 29

Asignación de entradas y salidas del PLC a variables del proceso.

Dirección en el PLC	Variable
I0.0	Fin de carrera 5LS
I0.1	Fin de carrera 6LS
I0.2	Fin de carrera 7LS
I0.3	Fin de carrera 8LS
I0.4	Fin de carrera 9LS
I0.6	Fin de carrera 11LS
I1.2	Fin de carrera 13LS
I1.5	Selector de tres posiciones sin retorno para selección de modo de operación (modo manual)
I2.0	Selector de tres posiciones sin retorno para selección de modo de operación (modo automático)
I2.1	Selector de tres posiciones con retorno al centro para ajuste de molde (Giro anti horario ajuste hacia izquierda cierre molde).
I2.2	Selector de tres

Continúa 

	posiciones con retorno al centro para ajuste de molde (Giro horario ajuste hacia derecha cierre molde).
I2.3	Selector de tres posiciones con retorno al centro para abrir o cerrar molde (cerrar molde).
I2.4	Selector de tres posiciones con retorno al centro para abrir o cerrar molde (abrir molde).
I2.5	Pulsador al ras rojo para inyección.
I2.6	Selector de tres posiciones con retorno al centro para expulsor de piezas (expulsor adelante).
I2.7	Selector de tres posiciones con retorno al centro para expulsor de piezas (expulsor atrás).
I3.0	Pulsador al ras negro para tornillo (gira tornillo).
Q0.0	Solenoide C
Q0.1	Solenoide D
Q0.3	Solenoide F
Q0.4	Solenoide H
Q0.5	Solenoide K
Q0.6	Solenoide L
Q0.7	Solenoide N
Q1.1	Solenoide X
Q2.0	Solenoide RT
Q2.1	Solenoide A
Q2.2	Solenoide B
Q2.3	Solenoide R

Para la alimentación del PLC, el módulo entradas salidas, HMI y compuertas de relés para activación de solenoides se calcula el consumo máximo en amperios requerido, como la suma de corriente del PLC, Modulo, pantalla táctil y de los 12 relés de estado sólido.

$$i_{fuente} = i_{PLC} + i_{modulo\ E/S} + i_{pantalla} + 12 * i_{relés}$$

$$i_{fuente} = 0.5 + 0.5 + 0.35 + 12 * 0.007$$

$$i_{fuente} = 0.5 + 0.5 + 0.35 + 12 * 0.007$$

$$i_{fuente} = 1.43\ A$$

La fuente seleccionada es logo power de 4A, dimensionada con una reserva de aproximadamente 3A, para futuras expansiones o mejoras en la automatización.



Figura 37 Fuente LOGO power.

Fuente: www.siemenssupply.com [Recuperado el 15/12/2016]

Tabla 30

Características generales fuente de poder Siemens 24VDC.

Características	Descripción
Modelo	LOGO POWER
Tipo	STABILIZED POWER SUPPLY
Alimentación	100-240 VAC
Voltaje Salida	24 VDC
Corriente de salida	4 A
Consumo	A 120 VAC - 1.24 A

Adicionalmente se dimensiona también tres breakers para protección de los circuitos de control, dado que la fuente de alimentación consume 1.24A a 110VAC, se considera un sobre impulso del 20%.

$$i_{breaker} = 1.2 * i_{Consumo\ fuente}$$

$$i_{breaker} = 1.2 * 1.24$$

$$i_{breaker} = 1.48[A]$$

El valor comercial más cercano del breaker para protección de la fuente es 2 [A], por lo que fue el que se instaló, dicho Breaker se coloca a la entrada de alimentación de la fuente logo power.

El segundo breaker se dimensiona para protección del PLC, y se coloca a la salida de la fuente de alimentación, dado que la corriente máxima que la fuente entrega es 4A se toma un sobre impulso del 20%.

$$i_{breaker} = 1.2 * i_{entrega\ fuente}$$

$$i_{breaker} = 1.2 * 4$$

$$i_{breaker} = 4.8[A]$$

El valor del breaker comercial más cercano es de 5[A], el cual fue instalado en la máquina.

El tercer breaker es instalado para la protección de cortocircuitos en las solenoides, se conecta a la entrada de los relés que activan dichas solenoides, donde ingresa la fase que las alimentara, el dimensionamiento de este breaker considera que nunca habrán más de 10 solenoides funcionando simultáneamente, considerando también un sobre impulso de 20%.

$$i_{breaker} = 1.2 * 10 * i_{solenoides}$$

$$i_{breaker} = 1.2 * 10 * 0.83$$

$$i_{breaker} = 9.96[A]$$

El breaker que se colocó corresponde a un valor comercial de 10[A].

Los Breaker instalados y sus características se muestran a continuación.

Tabla 31

Características de los breakers

Breakers						
Componente	#	ϕ	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Modelo	Protección
Breaker Siemens	1	3	10	440 AC	5SX1 3	PLC, Solenoides
Breaker Siemens	1	1	3	380 AC	WG	Fuente logo power
Breaker Siemens	2	1	5	380 AC	WH	PLC



Figura 38 Breaker Siemens 5SX13 10A.



Figura 39 Breaker Siemens WG 3A.



Figura 40 Breaker Siemens WH 5A.

3.7. Diseño de interfaz humano máquina

La máquina de inyección Van Dorn cuenta con un interfaz humano máquina conformada por una serie de pulsadores y selectores, los cuales permiten el mando de la máquina en sus distintos modos. Esta interfaz, será conservada, debido a que es necesaria en el proceso y se encuentra además en buen estado físico y funcional.

El mando principal del sistema cuenta con los siguientes componentes:

Tabla 32

Descripción interfaz máquina (HMI).

Componente	Función
Pulsador tipo hongo paro de emergencia	Su accionamiento permite detener la bomba y todos los mecanismos de la máquina, una vez accionado permanece enclavado hasta su desenclave manual.
Pulsador al ras rojo encendido de bomba.	Su pulsación permite el arranque de la bomba principal del sistema hidráulico, indispensable para todos los procesos de la máquina. Para apagar la bomba se emplea el paro de emergencia u la activación de una seguridad.
Pulsador al ras rojo para inyección	Su accionamiento permite la inyección de material fundido en modo manual, permanece accionado siempre que se mantenga presionado el botón.

Continua 

Pulsador al ras negro para tornillo.	Su accionamiento permite girar el tornillo para la mezcla y alimentación del material en modo manual, permanece accionado siempre que se mantenga presionado el botón.
Selector de tres posiciones sin retorno para selección de modo de operación.	La posición de este selector permite seleccionar el modo de operación de la máquina (manual, auto y semiauto), el selector permanece en la última posición al liberar la acción manual.
Selector de tres posiciones con retorno al centro para expulsor de piezas.	La posición de este selector en modo manual permite accionar el sistema del expulsor para su salida o ingreso. Accionando el selector en sentido anti horario sale el expulsor, mientras que en sentido horario lo retrae, al liberarlo retorna a la posición central.
Selector de tres posiciones con retorno al centro para abrir o cerrar molde.	La posición de este selector en modo manual permite abrir o cerrar el molde, es decir unir o separar las dos placas del molde. Accionando el selector en sentido anti horario el molde se abre, mientras que en sentido horario se cierra, al liberarlo retorna a la posición central.
Selector de tres posiciones con retorno al centro para ajuste de molde.	La posición de este selector en modo manual permite ajustar el tamaño del molde para su correcto cerrado. Accionando el selector en sentido anti horario se ajusta el mecanismo para moldes de menor espesor, mientras que en sentido horario para moldes de mayor espesor. Al liberarlo retorna a la posición central.

Todo el mando instalado en la máquina será recableado hacia las entradas del controlador, para darles su funcionalidad de acuerdo a los actuadores que accionen.

Para configurar los tiempos de vital importancia en el proceso, se ha decidido emplear una pantalla KTP400 Basic monocromatic, la cual despliega dos interfaces de uso intuitivo y sencillo para el operador. Los tiempos para su configuración en el HMI son: tiempo de inyección, tiempo de

sostenimiento, tiempo de enfriamiento y tiempo de descompresión, la definición y efecto de cada uno en el proceso se detalló en el capítulo 2 del presente estudio y las interfaces diseñadas se muestran a continuación:

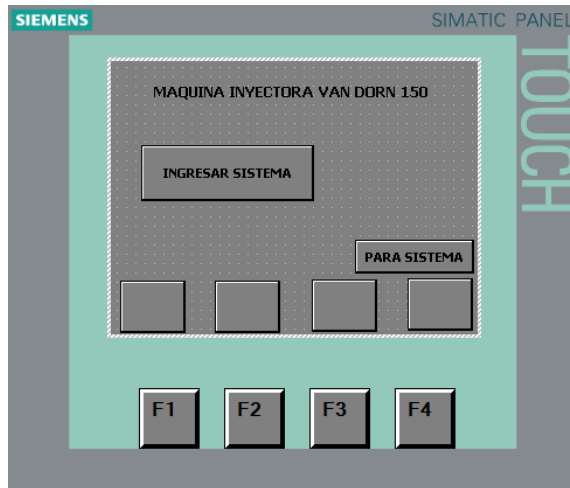


Figura 41 Diseño HMI.

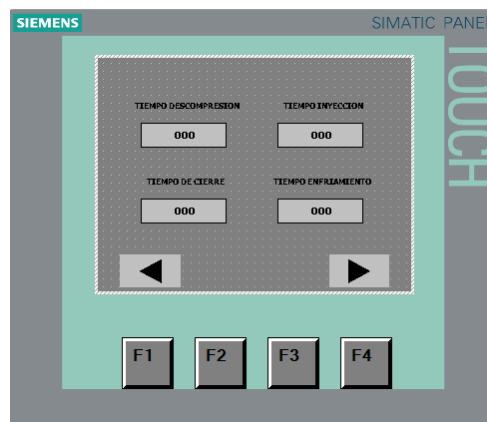


Figura 42 HMI configuración de los tiempos del proceso.

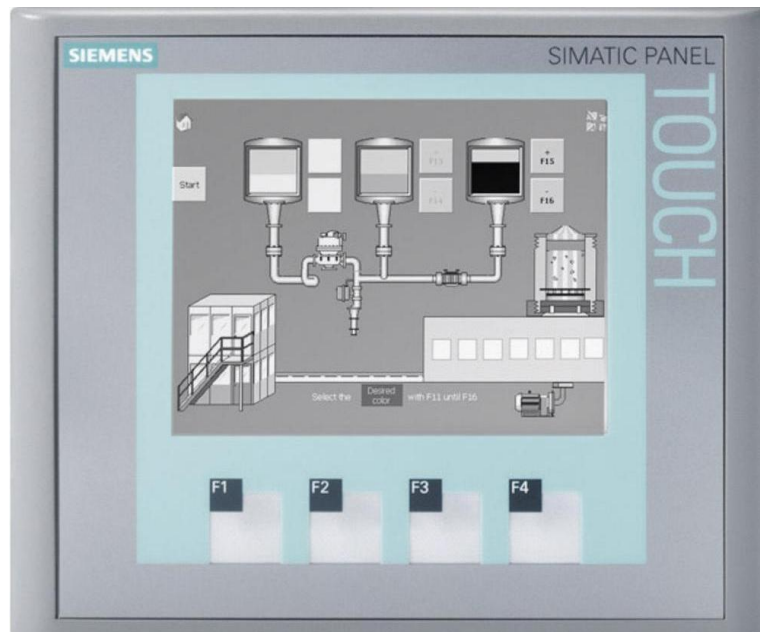


Figura 43 Pantalla táctil Siemens KTP400 Basic monocromatic.

Fuente: <http://www.conrad.com/ce/en/product/197854/Siemens-6AV6647-0AA11-3AX0-SIMATIC-KTP400-HMI-Basic-Panel-Resolution-320-x-240-pix-Interfaces-1-x-RJ45-Ethernet-for-P> [Recuperado el 15/12/2016]

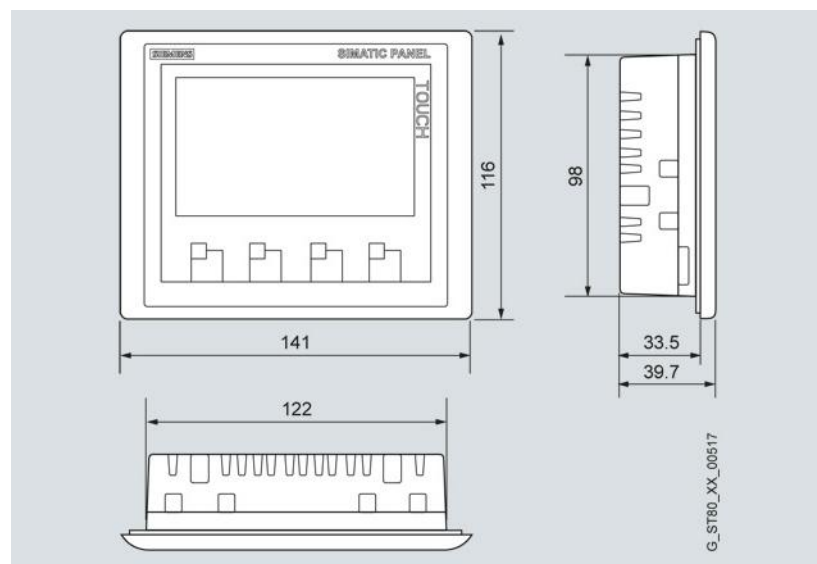


Figura 44 Dimensiones pantalla KTP400.

Fuente: <http://engineeringshop.nl/275129460-6AV66470AG113AX0> [Recuperado el 15/12/2016]

Tabla 33

Características pantalla KTP 400 Basic mono.

KTP400 MONO BASIC MONO PN	
Tensión nominal	DC 24 Vdc 19.2 Vdc – 28.8 Vdc
Consumo de corriente	350 mA
1 x Ethernet RJ45	10/100 Mbits

Como se observa en la figura 41, la primera interface corresponde a la presentación del sistema, y muestra un botón el cual permite el acceso a la segunda interface, en la cual el responsable a cargo deberá configurar los tiempos del proceso, el ingreso se hará vía táctil y su unidad será segundos.

Las variables correspondientes a los tiempos en el HMI serán manejadas como marcas en el controlador, y la comunicación entre el controlador y la pantalla se realizará vía cable Ethernet.

3.8. Diseño de algoritmo de control

Para el diseño del algoritmo de control se considera los siguientes enunciados:

- Dos modos de operación de la máquina manual y automático.
- Seguridad de operación para compuertas cerradas y protección de componentes como eyector, el cual no puede estar expulsado al momento de cerrar el molde,
- Manejo de tiempos de proceso (tiempo de inyección, sostenimiento, etc.), de modo que cumplan con su definición teórica.
- Secuencia de proceso, de modo que cumpla con las características del proceso y calidad de producción.

En modo manual el operador deberá tener las facultades para gobernar la máquina según sus necesidades, será él quien determine los tiempos del proceso y variables de suma importancia como el volumen de

inyección, el algoritmo de diseño o flujo grama de este modo se presenta en el anexo F.1. Por otro lado para el modo automático el ingeniero a cargo deberá configurar los tiempos de proceso, con los que la máquina realizará la producción, la intervención del operador en este modo es necesaria para la calibración del volumen de inyección en base a los resultados obtenidos; el algoritmo del modo automático diseñado se presenta en el anexo F.2.

C A P Í T U L O 4

IMPLEMENTACIÓN

En el siguiente capítulo se detallará la distribución de los dispositivos utilizados para la repotenciación de la máquina Van Dorn y se realizará la calibración del proceso de la máquina.

4.1. Controles de temperatura

Durante la automatización de la máquina de inyección se encontraron dos controladores de temperatura averiados debido al uso común al que se encontraban sometidos.



Figura 45 Controlador de temperatura.

Debido a que la máquina fue adquirida en 1985 no se encontraron repuestos iguales a los controladores averiados motivo por el cual se realizó el reemplazo por componentes de similares características, así como una adecuación estructural para empotrarlos al tablero de control, en la misma ubicación donde se encontraban los controladores originales.



Figura 46 Reemplazo de controles de temperatura.

En la figura anterior se muestran dos de los controladores antiguos y los dos reemplazados.

En el caso de los controladores no reemplazados su serie es S20 y poseen un indicador análogo y acción manual para la configuración de set-point. En el caso de los controladores nuevos la diferencia es que poseen indicadores y configuradores digitales. Ambos controladores permiten la lectura de termocuplas tipo J y poseen salida para actuadores tipo relé de 10A.

Con respecto al tipo de salida de cada controlador para los antiguos la salida es del tipo análogo a través de un SSR (Relé de Estado Sólido) y para los digitales la salida es seleccionable (tabla 25), configurada en digital (ON-OFF) para el proceso con la ayuda de dos contactores auxiliares, los cuales se encargan de accionar los actuadores para el calentamiento, en la siguiente figura se muestra el esquema de conexión.

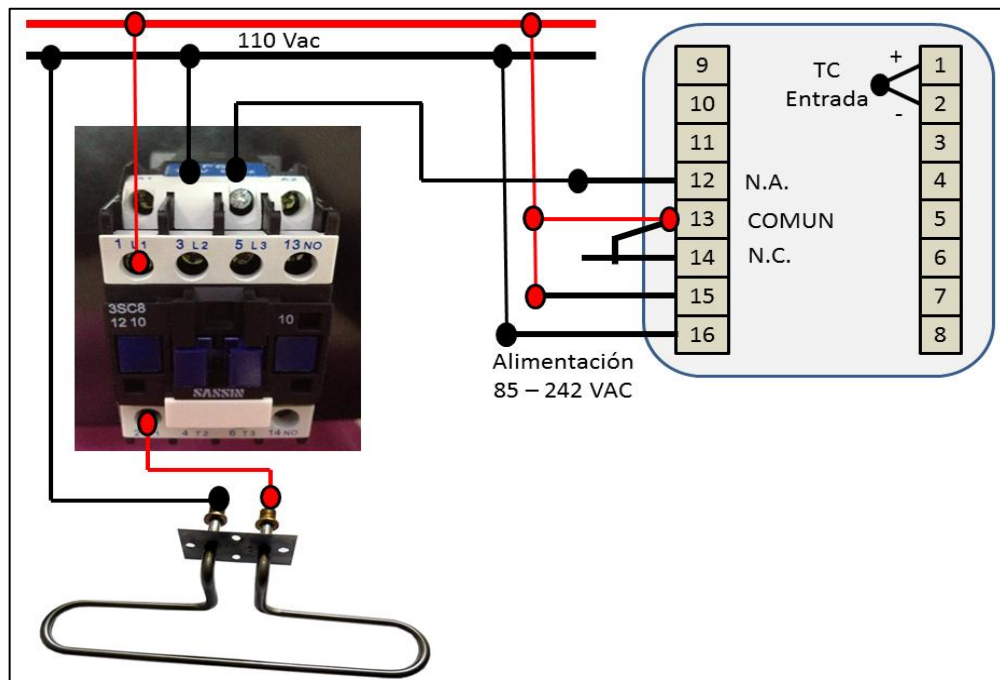


Figura 47 Esquema de conexión controlador de temperatura.

4.2. Distribución de Dispositivos

La ubicación de la mayoría de dispositivos de la máquina de inyección, se mantuvo en su posición original de fábrica, los elementos que fueron reemplazados como: controladores de temperatura (2), PLC, protecciones del PLC y circuitos auxiliares su ubicación dentro del tablero de control se encuentra en el anexo G, la distribución de cada elemento en función de las unidades de la máquina se describe a continuación.

4.2.1. Sección o unidad de inyección

En esta unidad se encuentran los solenoides, motores y pistones que permiten el proceso de inyección del material fundido, todos estos componentes se mantuvieron en su posición de fábrica, siendo necesaria solamente la reconexión de los solenoides al PLC.



Figura 48 Ubicación solenoide pistón de inyección.



Figura 49 Ubicación motor hidráulico de tornillo.

4.2.2. Sección o unidad de cierre

Los dispositivos que componen esta unidad corresponden a solenoides, pistones y motor para apertura y cierre de molde, al igual que en la unidad de inyección la ubicación de estos componentes no fue modificada.



Figura 50 Ubicación de solenoides unidad de cierre.

4.2.3. Sección o unidad de control

En esta sección se encuentran el PLC, fuentes, relés, contactores, interfaz humano máquina (HMI) y componentes de protección como disyuntores breakers o fusibles.

La ubicación escogida para el controlador fue la parte posterior de la compuerta principal del panel original de la máquina, esta posición facilita la revisión del sistema y el cableado de la máquina. Junto con el controlador se ubicó la fuente de alimentación el módulo de expansión entradas salidas, los relés para activación de los solenoides y breakers para protección del circuito.



Figura 51 Ubicación de controlador y componentes varios.



Figura 52 Dispositivos de control máquina de inyección.

Para el control de la bomba se emplean contactores, los cuales son gobernados por los botones de la interfaz humano máquina (HMI), la ubicación de estos dispositivos junto con el selector de encendido, un capacitor para corrección del factor de potencia, contactores y transformadores para el control de temperatura se escogió al interior del gabinete principal, ya que aquí se cuenta con el espacio suficiente para la colocación de cada dispositivo y su revisión para mantenimientos cuando se requiera.

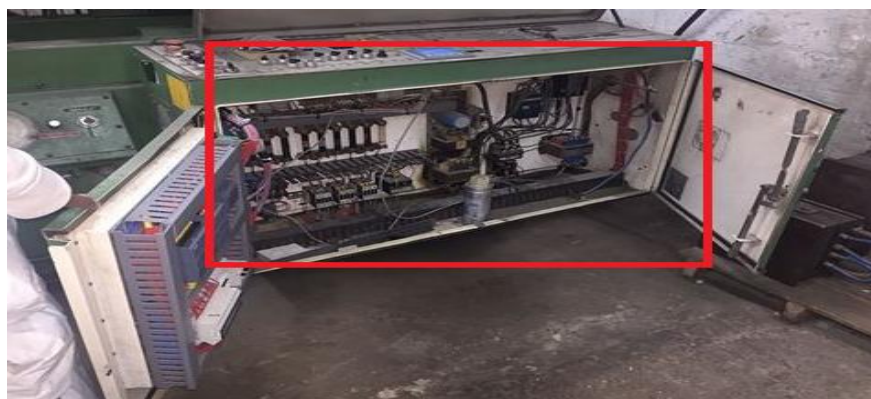


Figura 53 Dispositivos al interior del panel principal.

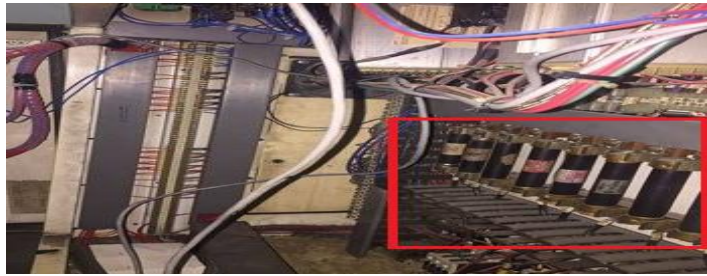


Figura 54 Ubicación fusibles máquina de inyección.



Figura 55 Ubicación contacto principal de bomba, disyuntor y transformador para control de temperatura.

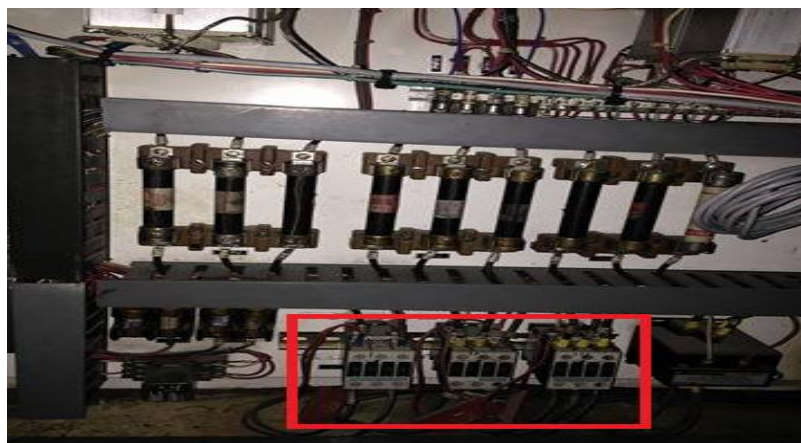


Figura 56 Contactores para control de temperatura.

Finalmente los dispositivos que conforman la unidad de control pertenecen al HMI, los dispositivos mecánicos como botones y selectores fueron reconectados en su posición original sobre el panel principal, y para la colocación de la interfaz humano máquina (HMI) digital se adaptó una ubicación en el mismo panel, donde se colocó la pantalla para la manipulación del operador.

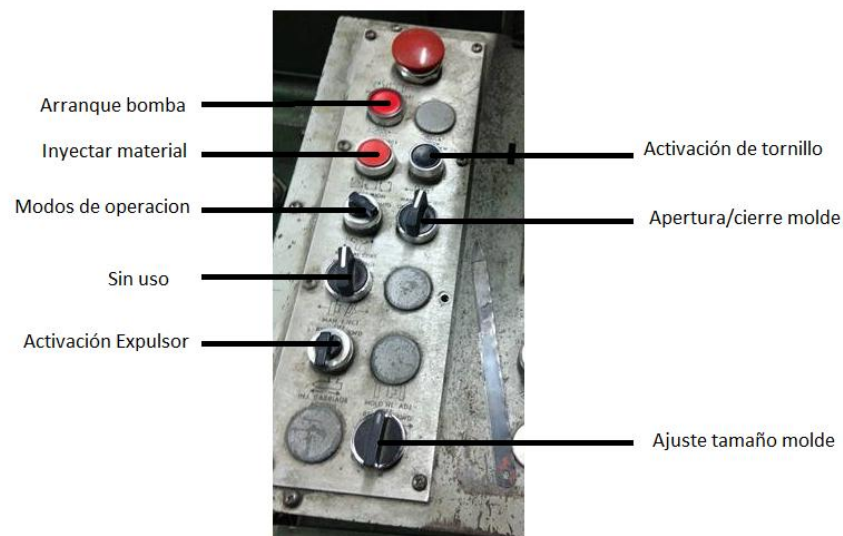


Figura 57 Botones y selectores HMI máquina de inyección.



Figura 58 Ubicación mando y HMI máquina inyectora.



Figura 59 Panel HMI máquina inyectora.

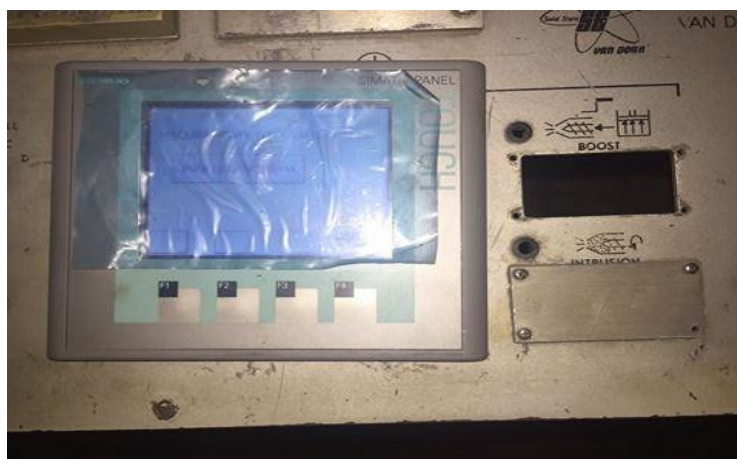


Figura 60 Pantalla táctil HMI máquina inyectora.



Figura 61 Ubicación dispositivos HMI máquina inyectora.

4.3. Distribución de cableado

Después de distribuir los dispositivos para la repotenciación de la maquina se procedió a analizar cómo distribuir el cableado lo más óptimo fue que tanto sensores como pre-actuadores (solenoides) se conecten a borneras para riel DIN y de ahí se conecten al PLC a través de canaleta ranurada, la selección del cable se le hizo siguiendo la norma AWG de cableado, la máxima corriente que circula por el solenoide es de 2 [A] a 110 [VAC], siendo esta la máxima corriente que circulara, se seleccionó el cable AWG 18, en la siguiente imagen se aprecia las características de este cable.

Breaking Force for Cu Wire

This estimate is based on nick-free soft annealed wire having a tensile strength of 37000 pounds per square inch.

AWG gauge	Conductor Diameter Inches	Conductor Diameter mm	Ohms per 1000 ft.	Ohms per km	Maximum amps for chassis wiring	Maximum amps for power transmission	Maximum frequency for 100% skin depth for solid conductor copper	Breaking force Soft Annealed Cu 37000 PSI
0000	0.46	11.684	0.049	0.16072	380	302	125 Hz	6120 lbs
000	0.4096	10.40384	0.0618	0.202704	328	239	160 Hz	4860 lbs
00	0.3648	9.26592	0.0779	0.255512	283	190	200 Hz	3860 lbs
0	0.3249	8.25246	0.0983	0.322424	245	150	250 Hz	3060 lbs
1	0.2893	7.34822	0.1239	0.406392	211	119	325 Hz	2430 lbs
2	0.2576	6.54304	0.1563	0.512664	181	94	410 Hz	1930 lbs
3	0.2294	5.82676	0.197	0.64616	158	75	500 Hz	1530 lbs
4	0.2043	5.18922	0.2485	0.81508	135	60	650 Hz	1210 lbs
5	0.1819	4.62026	0.3133	1.027624	118	47	810 Hz	960 lbs
6	0.162	4.1148	0.3951	1.295928	101	37	1100 Hz	760 lbs
7	0.1443	3.66522	0.4982	1.634096	89	30	1300 Hz	605 lbs
8	0.1285	3.2639	0.6282	2.060496	73	24	1650 Hz	480 lbs
9	0.1144	2.90576	0.7921	2.598088	64	19	2050 Hz	380 lbs
10	0.1019	2.58826	0.9989	3.276392	55	15	2600 Hz	314 lbs
11	0.0907	2.30378	1.26	4.1328	47	12	3200 Hz	249 lbs
12	0.0808	2.05232	1.588	5.20864	41	9.3	4150 Hz	197 lbs
13	0.072	1.8288	2.003	6.56984	35	7.4	5300 Hz	150 lbs
14	0.0641	1.62814	2.525	8.282	32	5.9	6700 Hz	119 lbs
15	0.0571	1.45034	3.184	10.44352	28	4.7	8250 Hz	94 lbs
16	0.0508	1.29032	4.016	13.17248	22	3.7	11 k Hz	75 lbs
17	0.0453	1.15062	5.064	16.60992	19	2.9	13 k Hz	59 lbs
18	0.0403	1.02362	6.385	20.9428	16	2.3	17 kHz	47 lbs
19	0.0359	0.91186	8.051	26.40728	14	1.8	21 kHz	37 lbs
20	0.032	0.8128	10.15	33.292	11	1.5	27 kHz	29 lbs
21	0.0285	0.7239	12.8	41.984	9	1.2	33 kHz	23 lbs

Figura 62 Características cable AWG.

Fuente: http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm [Recuperado el 15/12/2016]

Se seleccionó la puerta izquierda del gabinete principal superior para la colocación de las borneras como se muestra en la siguiente figura.



Figura 63 Borneras.

De aquí se distribuyó el cableado a través de la canaleta ranurada tanto hacia el PLC, fuente y relés como se muestra en la siguiente figura.



Figura 64 Distribución de cableado.

El cableado desde las borneras hacia los sensores fines de carrera y solenoides se realizó empleando la manguera de protección original de la máquina, ya que se encuentra en buen estado. En la siguiente figura se aprecia la manguera.



Figura 65 Manguera de protección para cableado eléctrico.

4.4. Calibración del proceso de inyección

En la siguiente figura se muestra los pasos para la calibración del proceso de manera sistemática.

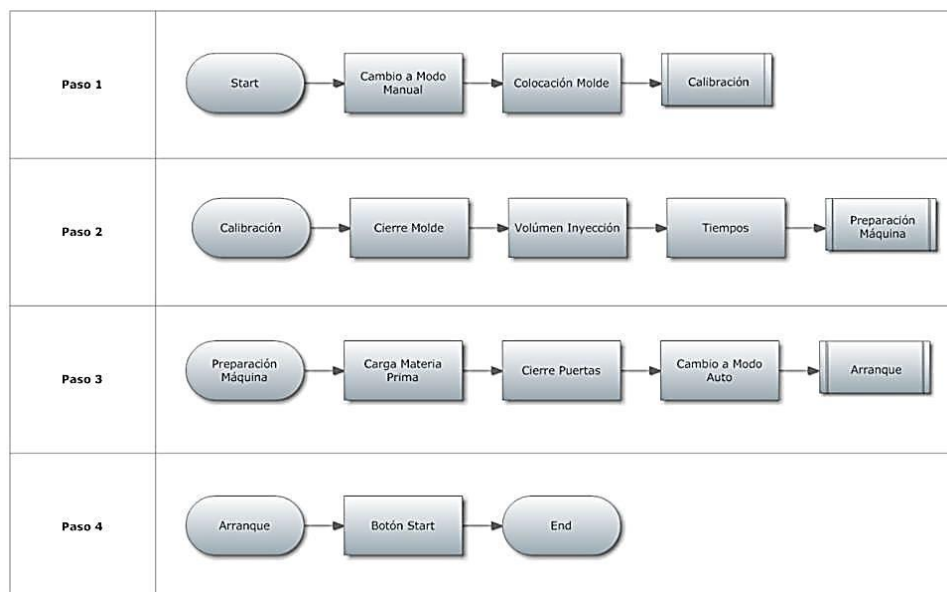


Figura 66 Pasos para calibración del proceso.

C A P Í T U L O 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se describirá una serie de pruebas realizadas sobre la máquina inyectora de plástico, todas las pruebas y resultados detallados se obtienen en la elaboración de cucharas, el principal producto para el cual se empleará la máquina repotenciada en la empresa TECNITROQUEL S.A.

5.1. Pruebas y calibración en modo manual

Una vez realizada la calibración de la máquina en lo referente al espesor del molde y la temperatura de fusión (170°C), se realizó pruebas de inyección para la fabricación de cucharas plásticas soperas. La variable regulada en cada prueba corresponde al volumen de material inyectado, el cual es posible variar modificando la posición de un sensor fin de carrera ubicado en el transcurso del recorrido del pistón de inyección.

Como primer paso se manipula la máquina en modo manual, comprobando cada una de las funciones, y verificando además que a la temperatura configurada en 170°C el material presenta una textura que le permite fluir, se realiza una serie de ciclos manuales, con diferentes posiciones del sensor fin de carrera, lo que corresponde a diferentes volúmenes de material inyectado, los resultados se tabulan y se presentan a continuación.

5.2. Resultados en modo manual

Tabla 34

Resultados a posición de sensor 12cm aprox.

Ciclo	% Pieza completa	% Exceso de material rebaba
1	65	0
2	70	0
3	70	0
4	70	0
5	70	0
6	70	0
7	70	0

Tabla 35

Resultados a posición de sensor 19cm aprox.

Ciclo	% Pieza completa	% Exceso de material rebaba
1	100	15
2	100	20
3	100	20
4	100	20
5	100	20
6	100	20
7	100	20

Tabla 36

Resultados a posición de sensor 15cm aprox.

Ciclo	% Pieza completa	% Exceso de material rebaba
1	100	5
2	100	0
3	100	0
4	100	0
5	100	0
6	100	0
7	100	0

De los resultados obtenidos se observa que con un volumen menor de material inyectado a una posición del sensor menor o igual a 12cm, las piezas obtenidas son incompletas, con partes rotas o fisuras y sin señal de exceso de material o rebaba en los contornos. Por otra parte con el sensor a posición mayor o igual a 19cm se obtiene piezas completas pero con presencia de exceso de material en los bordes, razón por la cual se ejecuta pruebas en un rango menor de distancia del sensor. Finalmente al fijar la posición en un rango de 14cm a 16cm se obtiene piezas de muy buena calidad a partir del segundo a tercer ciclo, estas piezas se observan completas y sin presencia de rebaba o exceso. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes imágenes.



Figura 67 Cuchara incompleta sensor a 12cm.



Figura 68 Cuchara con exceso de material sensor a 19cm.



Figura 69 Cuchara en buenas condiciones sensor 15cm.



Figura 70 Posición de sensor a 12 cm.



Figura 71 Posición de sensor a 19 cm.



Figura 72 Posición del sensor a 15cm.

- **Procedimiento para ajuste de máquina en modo manual**

En base a la operación manual de la máquina, es posible establecer un procedimiento secuencial de ajuste fino de la máquina inyectora para la fabricación de cucharas plásticas, que en segunda instancia puede ser extendido a cualquier tipo de pieza. Considerando el material empleado como materia prima y el volumen inyectado en el molde, este procedimiento se representa por el siguiente diagrama de flujo.

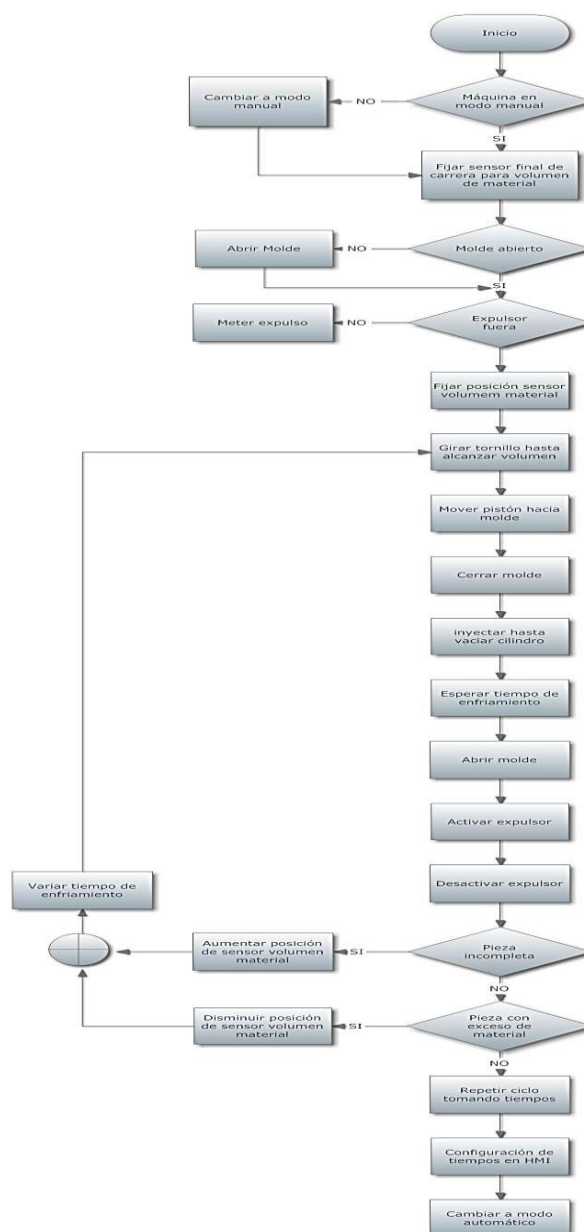


Figura 73 Diagrama de flujo calibración modo manual.

5.3. Pruebas y resultados en modo automático

Establecidos ya los niveles de operación en cuanto a volumen de material y temperatura, y ejecutados 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 la materia prima empleada, y las dimensiones de la pieza, existe variedad de bibliografía que recomienda valores consigna o provee métodos de cálculo (Referirse al capítulo 2); sin embargo se puede conseguir un ajuste eficiente basado en la experimentación empírica en modo manual; para esto es necesario la medición del tiempo de cada paso del proceso, documentando los valores para los cuales se obtuvieron mejores resultados.

En resumen es conveniente partir de valores recomendados o calculados bibliográficamente y ajustarlos de manera empírica con mediciones y verificación de resultados. Para el caso de las cucharas elaboradas en polipropileno por TECNITROQUEL S.A. se fija los tiempos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 37

Tiempos de proceso modo automático.

Tiempo de descompresión	Tiempo de cierre	Tiempo de inyección	Tiempo de enfriamiento
1 seg.	1 seg	6 seg.	2 seg.

Con estos parámetros fijados se procede al cambio a modo automático, obteniendo un lote de piezas en diferentes tiempos de ciclo, los resultados obtenidos se muestran a continuación

Tabla 38

Extracción de resultados modo automático.

EXTRACCIÓN DE RESULTADOS

MUESTRA	LOTE	TIEMPO PROCESO [s]	CUMPLIMIENTO [%]
1	1	24	100%
2	1	22	100%
3	1	22	100%
4	1	18	100%
5	1	18	100%
6	1	18	100%
7	1	17	100%
8	1	17	100%
9	1	18	100%
10	1	18	100%
11	1	16	100%
12	1	17	100%
13	1	17	100%
14	1	18	100%
15	1	19	100%
16	1	18	100%
17	1	17	100%
18	1	17	100%
19	1	17	100%
20	1	17	100%

De los resultados se puede observar que de los veinte ciclos o muestras obtenidas todas están 100% completas, los tiempos de ciclo oscilan entre 16 a 24 segundos lo que equivale a 3 piezas por minuto, el esquema estadístico y tiempo promedio de ciclo se presenta a continuación.



Figura 74 Tiempo de ciclos modo automático.

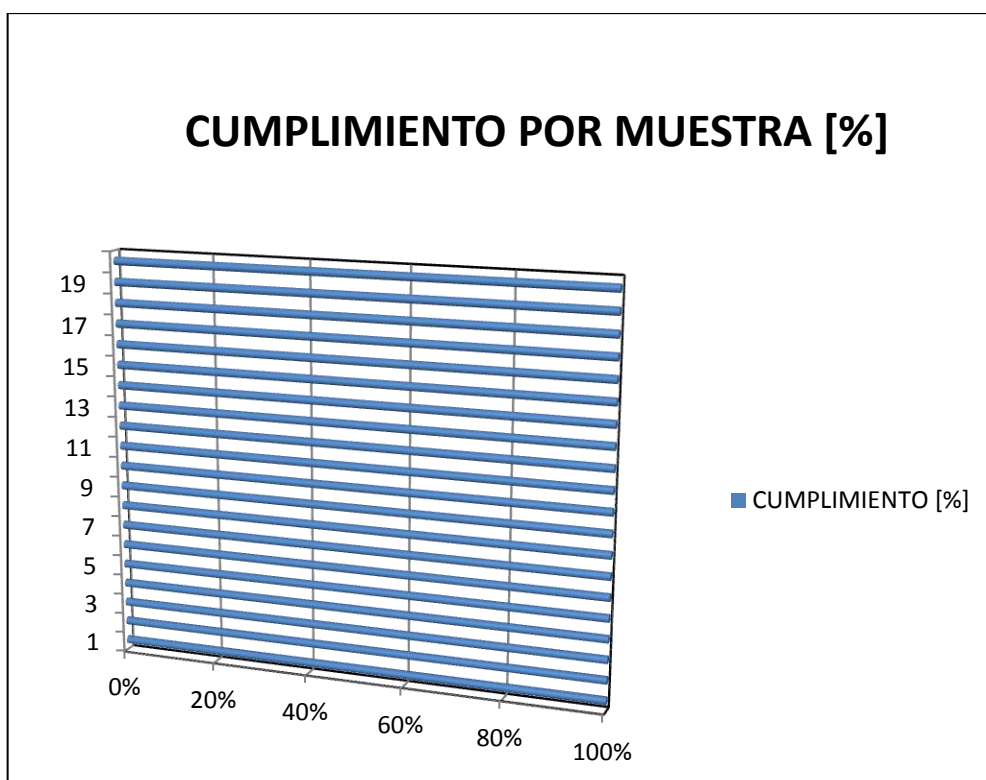


Figura 75 Estadística de piezas completas.

$$TIEMPO_{PROMEDIO} = \left(\sum_{MUESTRA_1}^{MUESTRA_{20}} TIEMPO_{PROCESO_s} \right) / 20$$

$$TIEMPO_{PROMEDIO} = \frac{365_s}{20_{MUESTRAS}}$$

$$TIEMPO_{PROMEDIO} = 18.5_s$$

Los resultados de las pruebas en modo automático se muestran a continuación, es posible minorar los tiempos de producción en base al volumen inyectado y la materia prima empleada.

Tabla 39

Resultados modo automático.

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

MUESTRA	LOTE	FOTO POR MUESTRA
0	1	
1	1	
2	1	

Continua 

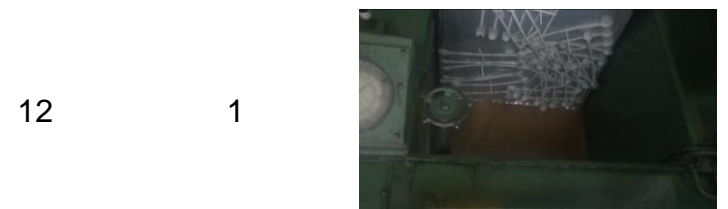
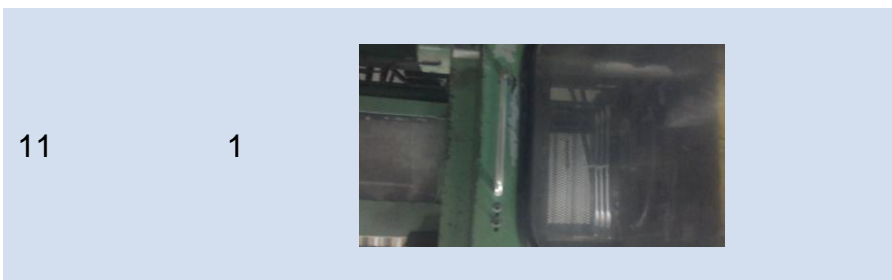
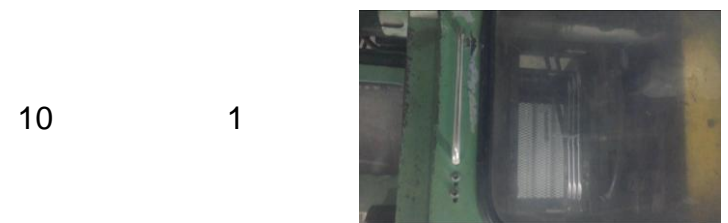
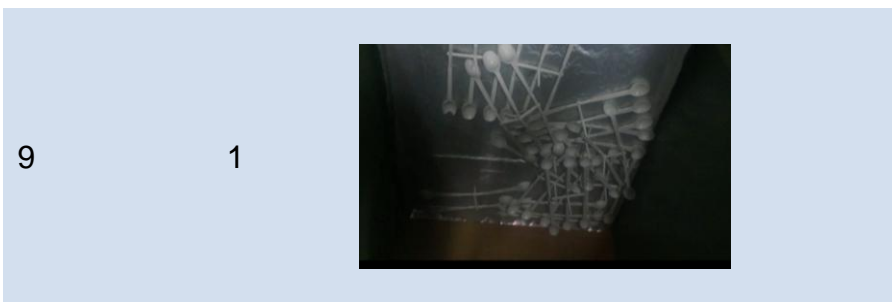
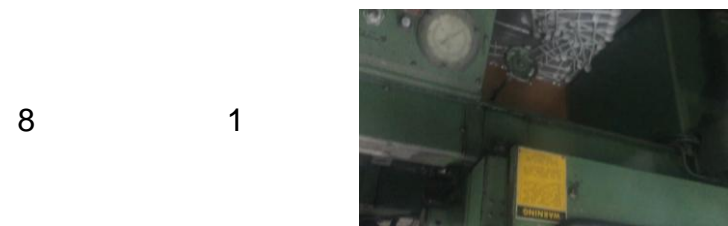
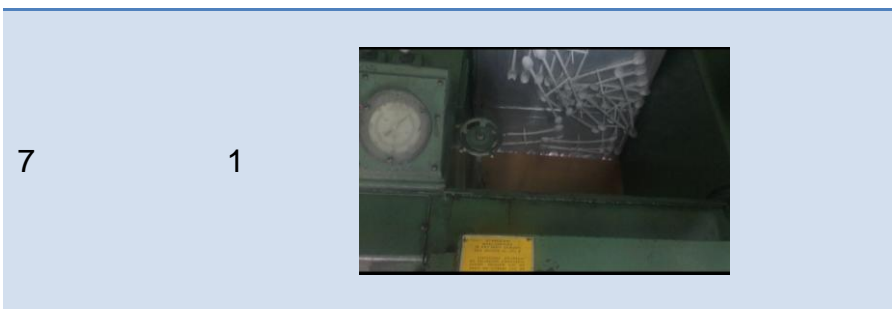


3 1

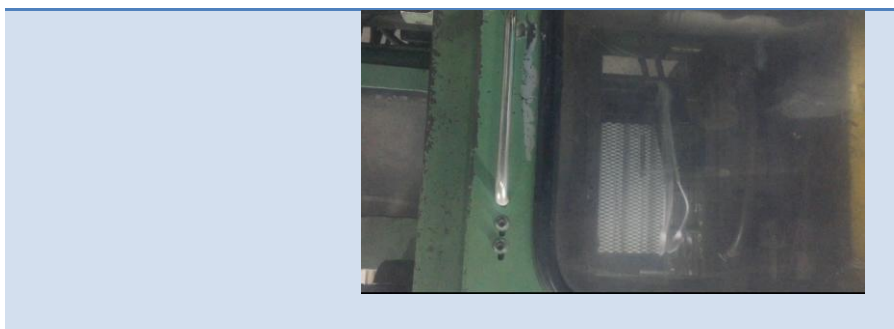
4 1

5 1

6 1

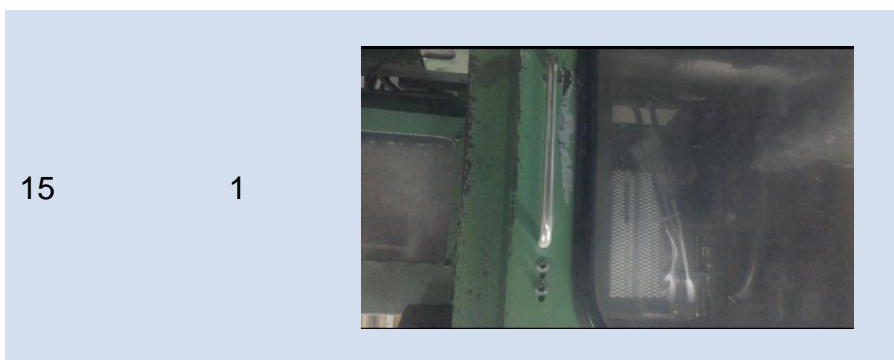


Continua 



14

1



15

1



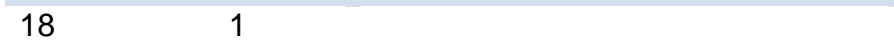
16

1



17

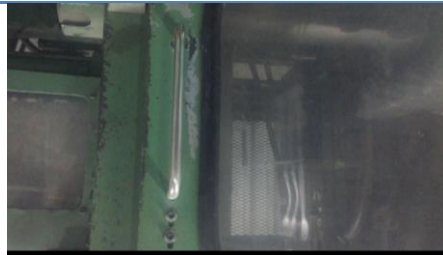
1



18

1

Continua 



19

1



20

1



En base a los resultados obtenidos en la serie de pruebas realizadas se puede concluir que la calibración del volumen de inyección debe ser fijado en modo manual, es importante reconocer los tiempos de espera para el calentamiento previo a la operación de la máquina; este tiempo depende de la materia prima a utilizarse y de las condiciones del ambiente, para el caso del polipropileno empleado en las pruebas el tiempo requerido es de aproximadamente quince minutos, sin embargo es importante que el operador inspeccione en el indicador de los controladores de temperatura que se alcanzó el valor fijado como consigna, y una vez hecho esto verifique manualmente que el material ya se encuentre fundido, esto es mediante el botón de inyección del panel principal. La operación en modo manual generalmente se realiza de manera empírica, sin embargo es importante

documentar los tiempos del proceso para la configuración futura en modo automático.

En modo automático, es importante que el responsable a cargo de la producción conozca las temperaturas de fusión de las materias primas y la definición de cada tiempo del proceso, para fijar los tiempos es recomendable partir de valores teóricos indicados en tablas o cálculos y ajustarlos mediante la validación de resultados, generalmente resultará más sencilla la calibración partiendo de valores teóricos y siguiendo el flujo grama de la figura 73.

Una vez obtenidos resultados adecuados es posible reducir los tiempos de ciclo o producción con la manipulación generalmente de los tiempos de enfriamiento y sostenimiento, sin descuidar verificar la calidad del producto final, en función de los resultados esperados.

De manera general se observa que la repotenciación implementada en la máquina de inyección Van Dorn se realizó de manera exitosa, ya que se consiguió recuperar las funcionalidades de la misma y con esto aportar a la producción de la empresa TECNITROQUEL S.A. El proceso de repotenciación fue llevado a cabo cumpliendo diferentes etapas, en la que se consideró dejar también un margen para futuras mejoras o automatizaciones.

C A P Í T U L O 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente capítulo se plantean una serie de conclusiones y recomendaciones en base al estudio realizado en este proyecto.

6.1. Conclusiones

- Se logró repotenciar el sistema eléctrico y electrónico de la máquina Inyectora de plástico VAN DORN Modelo 150-RS-8F de la empresa TECNITROQUEL S.A., mediante el reemplazo de las tarjetas electrónicas de control obsoletas por un PLC Siemens S7-1200.
- En base a la repotenciación de la máquina y a la posibilidad de configurar los tiempos de proceso de manera sencilla en el HMI, la máquina VAN DORN actualmente permite procesar diferentes tipos de plástico con una configuración de tiempos y de temperatura, incrementando la productividad de la empresa TECNITROQUEL S.A. cuyos directivos quedaron sumamente conformes.
- La producción en la empresa TECNITROQUEL S.A según datos de sus directivos mejoró en un 40%, la producción de la máquina en relación al estado no funcional mejoró en un 100%, mientras que en relación a sus condiciones de operación previo a su avería mejoró en un 70%, dado que el tiempo de producción se redujo de 1,5 minutos por ciclo a alrededor de 1 minuto.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento de sensores y actuadores del proceso de inyección de plástico y se procedió con el reemplazo de los componentes averiados.
- Se diseñó e implementó un algoritmo para el PLC capaz de cubrir con las necesidades del proceso de Inyección de plástico.

- Se implementó un HMI sencillo e intuitivo para el operador de la máquina, permitiendo una configuración sencilla de los tiempos para el cumplimiento del proceso.
- Se realizó un análisis de resultados para comprobar el funcionamiento y operatividad de la máquina VAN DORN y de los componentes que la componen.
- Se documentó en manuales, planos y diagramas el proceso de repotenciación para Inyección de plástico llevado a cabo usando la máquina VAN DORN Modelo 150-RS-8F de la empresa TECNITROQUEL S.A.

6.2. Recomendaciones

- Implementar un algoritmo para el proceso semi-automático que permita la calibración de la máquina de manera más sencilla.
- Verificar que al poner en marcha la máquina la tolva de materia prima se encuentre llena para evitar problemas de operación.
- Realizar mantenimientos periódicos en la máquina para preservar el correcto funcionamiento de los componentes de la máquina VAN DORN.
- Durante la ejecución del proceso evitar el contacto físico con el cilindro y otros componentes de la máquina para evitar quemaduras y accidentes debido a la temperatura con la que opera la máquina y la potencia de los componentes electromecánicos.
- Para corrección de fallas, operación y consultas sobre la máquina VAN DORN Modelo 150-RS-8F de la empresa TECNITROQUEL S.A., referirse al manual de usuario.

BIBLIOGRAFÍA

- Águila, M. C. (Julio de 2010). *Manual de Inyección de Plásticos*.
Obtenido de Junta de Andalucía:
http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/16022011/85/es-an_2011021612_9123456/manual_deinyeccion.pdf
- J., T. N. (2002). *expodime*. Recuperado el 5 de 10 de 2016, de http://expodime.cucei.udg.mx/vexpo/IVEXPODIME/pdf/EXPODIME_19.pdf
- M, J. d. (11 de 2007). *wikifab*. Recuperado el 5 de 10 de 2017, de <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/5/56/02Inyectora08.pdf>
- O, G. (2011). *Universidad Tecnica de Ambato portal WEB*. Recuperado el 5 de 10 de 2017, de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3045/Tesis%20I.%20152%20-%20Garc%C3%ADa%20Ter%C3%A1n%20Alex%20Omar.pdf>
- Pállas, R. (2001). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. Barcelona: Marcombo.
- Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Madrid: Alfaomega.
- Robert F. Coughlin, F. F. (2000). *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Mexico D.F: Prentice Hall Hispanoamericana.

ANEXOS