



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LA INGENIERIA Y
MECANICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

AUTOR: CRUZ JÁCOME, EDGAR MAURICIO

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA PROTOTIPO DE
DESMOLDEO AUTOMÁTICA DE ONE PIECE PARA LA EMPRESA
FRANZ VIEGENER AREA ANDINA S. A.”**

DIRECTOR: ING. MORILLO, DIEGO

CODIRECTOR: ING. OLMEDO, FERNANDO

SANGOLQUI, ABRIL 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA PROTOTIPO DE DESMOLDEO AUTOMÁTICA DE ONE PIECE PARA LA EMPRESA FRANZ VIEGENER AREA ANDINA S. A.” fue realizado en su totalidad por Edgar Mauricio Cruz Jácome, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing. Diego Morillo

DIRECTOR

Ing. Fernando Olmedo

CODIRECTOR

Sangolquí, abril 2014.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo: Cruz Jácome Edgar Mauricio

DECLARO QUE:

La tesis de grado titulada “Diseño y construcción de una línea prototipo de desmoldeo automática de ONE PIECE para la empresa Franz Viegener área andina S. A.”, ha sido desarrollada con base en una profunda investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas correspondientes, cuyas fuentes constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis de grado en mención.

Sangolquí, abril 2014.

Edgar Mauricio Cruz Jácome

CI: 0201848512

CARRERA DE INGIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo: Edgar Mauricio Cruz Jácome

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA PROTOTIPO DE DESMOLDEO AUTOMÁTICA DE ONE PIECE PARA LA EMPRESA FRANZ VIEGENER AREA ANDINA S. A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

EDGAR MAURICIO CRUZ JÁCOME

Sangolquí, abril 2014.

DEDICATORIA

*A mi madre, a mi sol, a mi nena y el ángel que siempre vela por mí desde el
cielo.*

Dedico este proyecto a mi madre por todo el constante esfuerzo y apoyo brindado para superar esta etapa de mi vida, además de mostrarme siempre la manera correcta de hacer todo gracias a lo cual conseguimos este logro y a mi hija que es el motor que me permitió culminar sin claudicar y por quien
luchare todos los días de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y guiado durante toda mi vida para conseguir todos estos logros y haberme llenado de bendiciones siempre.

Luego a mi madre quien me brido todo el cariño y apoyo a pesar de la distancia y a quien le estaré eternamente agradecido.

A mi compañera para todo Ana María quien fue fundamental para conseguir este logro y que con su amor y paciencia me ayudaron a lo largo de mi carrera universitaria y con su ímpetu para el resto de mi vida.

Mi hermano y compañero de toda la vida que con sus consejos me apoyo siempre.

Mis abuelos por su apoyo incondicional, que desde lejos siempre estuvieron pendientes y llenándome de enseñanzas siempre útiles.

Mis familiares David, Lorena, Katya, Erik, Henry, Alan, especialmente Danilo que me acogió bajo su cuidado y siempre estuvo presente con sus críticas y consejos que me hicieron lo que soy. Sin olvidar a Gonzalo que desde muy lejos fue fundamental en esta consecución.

A la empresa FV Área Andina División Sanitarios y su gerente Marco Bravo quien creyó en mi para el desarrollo de este proyecto y al equipo de mantenimiento que con sus sugerencias y apoyo lograron que todo concluya de la mejor manera.

A todos mis amigos que creyeron en mí, que estuvieron siempre pendientes y estuvieron en los buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1 Descripción general del proyecto	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	2
1.1.3 Objetivos.....	4
1.1.1.1 General.....	4
1.1.1.2 Específicos	4
1.1.4 Alcance del proyecto.....	5
1.1.5 Metodología	5
1.2 Líneas de conformación cerámica.....	6
1.2.1 Partes de una línea de conformación cerámica	9
1.2.2 Descripción del funcionamiento de una línea de baja presión	9
1.3 Descripción del proceso de diseño.....	11
1.3.1 Identificación del problema	11
1.3.2 Análisis del problema.....	12
1.3.3 Especificaciones y requerimientos de la maquinaria	12
1.3.4 Descripción de las posibles alternativas	13
1.3.5 Selección de alternativas	16

1.3.6	Consideraciones finales de diseño	19
CAPITULO II		21
2.	Diseño Mecánico.....	21
2.1	Diseño de la línea de desmoldeo semiautomática	21
2.2	Consideraciones principales de diseño	22
2.3	Diseño de la estructura.....	23
2.3.1	Esquema y definición de la estructura	24
2.3.2	Análisis estructural.....	25
2.3.3	Selección de materiales e implementos.....	37
2.4	Diseño del mecanismo de prensado y desmoldeo	38
2.4.1	Esquema de la estructura ensamblada.....	38
2.4.2	Cálculos hidráulicos de fuerza, dimensionamiento y selección de materiales.....	39
2.4.3	Sistema de volteo y levantamiento de la pieza	42
2.4.4	Análisis estático	43
2.4.5	Diseño de los circuitos de control y potencia neumáticos	45
2.4.6	Cálculos y selección de elementos de fuerza y control.....	47
2.5	Diseño del sistema de acondicionamiento térmico.....	57
2.5.1	Esquema del sistema térmico a acondicionar.....	57
2.5.2	Análisis térmico del área a acondicionar.....	58

2.5.3	Dimensionamiento y selección de los elementos del sistema.....	60
Capítulo III	63
3.	Diseño electrónico, automatización y control	63
3.1	Análisis de los procesos a automatizar	63
3.1.1	Identificación de los lazos de control y los requerimientos a cumplir	63
3.1.2	Análisis del control secuencial a implementar.....	65
3.2	Selección de elementos eléctricos	66
3.2.1	Definición de variables a controlar	66
3.2.2	Selección de sensores.....	67
3.2.3	Selección de los actuadores	70
3.3	Sistema de control.....	74
3.3.1	Definición de la secuencia a cumplir de acuerdo a parámetros.....	74
3.4	Control por PLC.....	77
3.4.1	Selección del PLC.....	77
3.4.2	Programación de PLC.....	81
3.4.3	Diseño de la interfaz de manejo.....	92
3.4.4	Diseño del tablero de control	96
Capítulo IV	102

4. Pruebas de funcionamiento y manual de usuario	102
4.1 Pruebas de sistemas mecánicos	102
4.1.1 Sistema mecánico.....	102
4.2 Pruebas sistemas eléctricos	109
4.3 Manual de operación	114
4.4 Manual de Mantenimiento	114
Capítulo V	115
5. Conclusiones y recomendaciones.....	115
Conclusiones.....	115
Recomendaciones.....	117
Bibliografía	118

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso de producción.	7
Figura 2. Partes Línea de Conformación cerámica.	9
Figura 3. Consideraciones de diseño.	19
Figura 4. Campos de acción.	20
Figura 5. Herramientas empleadas.	20
Figura 6. Forma de los moldes.	24
Figura 7. Mesa de moldes.	26
Figura 8. Coche de moldes.	27
Figura 9. Coche de moldes – Análisis a flexión.	28
Figura 10. Coche de moldes – Factor de seguridad.	28
Figura 11. Estructura L.	29
Figura 12. Marco Ventiladores.	30
Figura 13. Estructura soporte de tapas.	30
Figura 14. Brazo soporte de tapas.	31
Figura 15. Angulo troquelado.	31
Figura 16. Estructura de soporte.	32
Figura 17. Análisis de factor de seguridad – Estructura de soporte.	33
Figura 18. Análisis de Esfuerzos – Estructura de soporte.	33
Figura 19. Análisis de desplazamiento unitario – Estructura de soporte.	33
Figura 20. Viga compuesta.	34
Figura 21. Viga compuesta.	35
Figura 22. Diagrama de fuerzas estructura.	36
Figura 23. Esquema de levantamiento y prensado.	39

Figura 24. Forma del molde.	40
Figura 25. Esquema del coche de desmolde	43
Figura 26. Diagrama de palanca.	43
Figura 27. Diagrama de fuerzas.	44
Figura 28. Circuito Neumático de giro.	46
Figura 29. Circuito Neumático de elevación.	46
Figura 30. Circuito Neumático de apriete.	47
Figura 31. Cilindro serie ISO 15552.	48
Figura 32. Características Cilindro serie ISO 15552.	49
Figura 33. Selección cilindro para el giro.	50
Figura 34. Cilindro compacto serie CMPC.	51
Figura 35. Selección cilindro para el giro.	52
Figura 36. Tabla de consumo de aire de cilindros.	53
Figura 37. Línea doble automática.	56
Figura 38. Coche desmoldador.	57
Figura 39. Áreas Aisladas.	57
Figura 40. Ventiladores Monofásicos axiales.	62
Figura 41. Presóstato Unidad Hidráulica.	68
Figura 42. Interruptor de posición.	68
Figura 43. Termohidrómetro.	70
Figura 44. Válvulas Valbia.	71
Figura 45. Funcionamiento Válvula Valbia.	71
Figura 46. Funcionamiento Válvula Valbia.	72
Figura 47. Electroválvula de proceso.	73

Figura 48. Válvulas electroneumáticas.	74
Figura 49. Catálogo de selección PLC.....	79
Figura 50. Pantalla KTP.	80
Figura 51. Diagrama de flujo – proceso automático.....	82
Figura 52. Diagrama de flujo – proceso manual.....	83
Figura 53. Diagrama de flujo – cebado.	84
Figura 54. Diagrama de flujo – prensado.	85
Figura 55. Diagrama de flujo – llenado.	86
Figura 56. Diagrama de flujo – Tiempo de toma de espesor.	87
Figura 57. Diagrama de flujo – Tiempo de soplado.....	87
Figura 58. Diagrama de flujo – reposo.....	88
Figura 59. Diagrama de flujo – levantamiento.....	88
Figura 61. Bloques SCALE_X y NORM_X.....	89
Figura 62. Diagrama de Escalamiento.....	90
Figura 63. Diagrama de escalamiento a 4mA.	90
Figura 64. Conexión sensor de 3 hilos.....	91
Figura 65. Diagrama de normalización.	92
Figura 66. Pantalla inicial.	93
Figura 67. Pantalla de proceso.	94
Figura 68. Pantalla de configuración.....	95
Figura 69. Pantalla de manejo manual.....	96
Figura 70. Relés de interfaz.	97
Figura 71. Relés de interfaz.	98
Figura 72. Guardamotor trifásico.....	99

Figura 73. Contactores trifásico.	100
Figura 74. Elementos del tablero eléctrico.	101
Figura 75. Pruebas sistema neumático de giro y control neumático.	103
Figura 76 Pruebas sistema neumático de apriete.	103
Figura 77 Ajuste de inclinación del sistema de apriete.	104
Figura 78 Calibración de guías laterales.	104
Figura 79 Ajuste en mesa de elevación.	105
Figura 80 Ajuste en reguladores del sistema de ventilación.	106
Figura 81 Ajuste de presión en válvulas de llenado.	106
Figura 82 Ajuste de reguladores de caudal.	107
Figura 83 Ajuste de pistones hidráulicos.	108
Figura 84 Ajuste en unidad hidráulica.	109
Figura 85 Ajuste y posicionamiento de fines de carrera.	109
Figura 86 Ajuste de fines de carrera inferiores.	110
Figura 87 Ajuste de sensor de nivel alto.	110
Figura 88 Alarmas visuales y sonoras.	111
Figura 89 Pantalla de manejo manual.	112
Figura 90 Pantalla de Configuración.	112
Figura 91 Pantalla de proceso.	113
Figura 92 Pantalla táctil posicionada entre las dos líneas.	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alternativas para Mesa de moldes con inclinación.	14
Tabla 2. Alternativas para coche de desmolde.....	14
Tabla 3. Alternativas para el levantamiento inclinado.....	15
Tabla 4. Alternativas para la ventilación dirigida.....	16
Tabla 5. Alternativas para el control	16
Tabla 6. Matriz de selección de alternativas.....	18
Tabla 7. Pesos reales del molde.	25
Tabla 8. Material estructura de levantamiento.....	37
Tabla 9. Material Estructura de mesas y coches.....	38
Tabla 10. Material para circuitos neumáticos.	47
Tabla 11. Material para Coche desmoldador.....	56
Tabla 12. Entradas y salidas.	78
Tabla 13. Valores de escalamiento del termohidrómetro.	92
Tabla 14. Consumo de corriente PLC.	97

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A

Manual de usuario y manejo de la pantalla.

ANEXO B

Manual de mantenimiento mecánico y eléctrico.

ANEXO C

Planos Eléctricos de automatización.

ANEXO D

Planos Mecánicos de la estructura y coches.

RESUMEN

El presente proyecto de grado, denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA PROTOTIPO DE DESMOLDEO AUTOMÁTICA DE ONE PIECE PARA LA EMPRESA FRANZ VIEGENER AREA ANDINA S. A.”, se plantea con el objetivo de desarrollar una línea de producción prototipo, que sea ergonómica para el operario encargado de la misma y además tenga un manejo centralizado, automático, de fácil manipulación y amigable con el usuario. La misma se diseña para una producción diaria de 40 piezas. Con estos requerimientos gracias al diseño mecatrónico implementado se pueden resolver cada uno los problemas que involucran desmolde neumático de la pieza, desmolde hidráulico y prensado de las tapas, además de un control secuencial del proceso conformado de la pieza desde en cada una de sus fases desde el llenado al soplado. Cada uno de estos aspectos garantiza un mejor trabajo pesado para el operario lo que ayuda a un mejor desempeño en los acabados a realizarse en la pieza. Finalmente se establecen las debidas pruebas de funcionamiento y de calibración de cada uno los elementos, mostrando de esta manera todos las ventajas obtenidas en el proceso y que de esta manera se asegura un controla más exacto en los tiempos del proceso, y por otro lado una menor fatiga en los operarios porque se le brinda una mayor ergonomía en todo el proceso.

Palabras clave:

- Prototipo.
- Desmolde.

- Llenado.
- Prensado.
- Ergonómico.
- Control Secuencial.

ABSTRACT

This graduation project, called “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE AUTOMATIC LINE DEMOULDING FOR ONE PIECE FOR COMPANY FRANZ VIEGENER ANDEAN REGION S.A.”, is proposed with the aim of developing a prototype production line, that is ergonomic for the operator in charge of the same and also has a centralized, automatic, easy to handle and user-friendly handling. It is designed for a daily production of 40 pieces. With these requirements implemented through the mechatronic design can solve everyone's problems involving neumatic demolding, hydraulic demolding and pressing caps, well as a sequential control of the process consists of the workpiece from each of its stages from filling to blow. Each of these aspects ensures better for heavy work which helps the operator to perform better in the finished piece to be held in. Finally proper performance testing and calibration are established each element, thus showing all the advantages gained in the process and thus ensures a more accurate controls in process times, and on the other hand, a less operator fatigue because it provides better ergonomics throughout the process.

Keywords:

- Prototype.
- Demoulding
- Filling.
- Pressed.

- Ergonomic.
- Sequential Control.

CAPÍTULO I

1. Generalidades

En el presente capítulo se describen de manera general los antecedentes que motivaron a la realización del presente proyecto de graduación para la empresa Franz Viegener S.A., en segunda instancia se describe la problemática actual que justificó la realización de un sistema automático y ergonómico de desmolde, a continuación se presentan los objetivos y el alcance como fase previa al diseño y construcción. Finalmente describiendo la metodología empleada en el proceso de diseño.

1.1 Descripción general del proyecto

1.1.1 Antecedentes

La empresa Franz Viegener conformada por un grupo humano de más de 4.000 personas cercanas a las necesidades de sus clientes, cuenta con siete plantas de producción en América Latina y algunas filiales de comercialización. La cobertura de ventas la realiza una sólida red de distribución conformada por más de 15.000 distribuidores en todo el Continente; los mismos que relacionan a más de 2 millones de personas con la logística, promoción y comercialización de los productos FV-Franz Viegener.

Es así, que anualmente se venden más de 2 millones de piezas de porcelana sanitaria; y, más de 4 millones de llaves y juegos de grifería. Sus productos están instalados en los más representativos proyectos urbanísticos de varias ciudades latinoamericanas; aproximadamente, más de 150 hoteles,

200 centros comerciales, 85 aeropuertos, 210 hospitales y 430 instituciones de educación, entre otros.

Los procesos de producción de sanitarios en su gran mayoría se los realizan de manera manual y con un pesado trabajo por parte del obrero, el mismo que cuenta un registro manual de los tiempos tomados en cada fase del proceso de colado. De igual manera los problemas de salud ante tal trabajo físico es uno de los principales alicientes que lleva a la empresa a buscar un mejoramiento en sus procesos de desmolde.

Debido a las razones expuestas anteriormente la empresa decide incurrir en un diseño mecatrónico que brinde las garantías ergonómicas para los trabajadores y un control más sistemático del proceso por parte de los encargados, además de tener las piezas posterior al proceso de desmolde bajo las condiciones de temperatura y humedad que permitan un buen proceso de endurecimiento.

1.1.2 Justificación

La división de sanitarios de la empresa Franz Viegner está encargada de la producción de inodoros, tanques, pedestales, lavatorios, urinarios y accesorios bajo las más estrictas normas de seguridad y calidad de acuerdo a la certificación técnica INEN NTE 1571, pensando en la automatización y mejoramiento de sus procesos productivos e innovación con productos para el mercado nacional e internacional, se encamina en el desarrollo de líneas de producción que generen mayores prestaciones y una menor cantidad de errores en el proceso de producción.

Debido a la demanda del producto One-Piece la empresa busca mejorar los niveles de producción y un modelo ágil que además de aumentar la velocidad del proceso, permita a los operarios realizar un trabajo de mayor calidad y que les brinde la ergonomía necesaria.

El proceso de producción en la línea abarca en primer lugar el llenado de los moldes con la pasta, bajo el control de válvulas manuales accionadas en tiempos específicos. Para acelerar el proceso de endurecimiento de la pieza en el molde o fuera de este se utiliza ventilación forzada unidireccional, con ventiladores de techo. En el proceso de desmoldeo de este tipo de producto se debe levantar las tapas de manera manual, y posterior a este la pieza se debe desmoldar evitando hacer el menor daño a la pieza o al molde. Finalmente todo este proceso se lo debe realizar en una sala con condiciones de temperatura y humedad específicas.

El presente proyecto se encamina en el mejoramiento y automatización de esta línea productiva, empezando con el diseño y construcción de la misma. El proceso arrancarían con el llenado y vaciado de los moldes en tiempos exactos con el uso de los actuadores necesarios. Además pensando en tener un mejor manejo de las piezas en los procesos de desmolde se desarrollarán mecanismos automáticos apropiados para el levantamiento de tapas y la extracción de la pieza del molde, asegurando con esto un mínima incidencia por errores humanos, acortando los tiempos en el proceso y asegurando que los operarios no realicen trabajos pesados ni repetitivos en la medida de lo posible dando ergonomía al proceso, teniendo todo el sistema bajo condiciones controladas de humedad y temperatura en trabajo y recuperación,

contando el mismo con sistemas de ventilación dirigida de acuerdo a las necesidades del proceso.

1.1.3 Objetivos

1.1.1.1 General

Diseñar y construir el prototipo de una línea de producción de ONE PIECE con una capacidad de producción de 20 piezas por colada que permita reducir la manipulación de la pieza a trabajar con mecanismos que faciliten la elevación de las tapas en conjunto y el desmoldeo de la pieza todo esto bajo condiciones controladas de temperatura y humedad por medio de PLC y con una interfaz de fácil manejo.

1.1.1.2 Específicos

- Analizar el sistema mecánico que soportará tanto los moldes como las piezas permitiendo su manipulación.
- Definir el sistema neumático de desmoldeo de la pieza que permita una rápida y fácil transportación del mismo con un manejo seguro de la pieza.
- Determinar el tipo de control para la elevación de las tapas, el llenado de la línea, conjuntamente con una interfaz de fácil manejo gobernada por un PLC.
- Valorar la puesta en marcha y su funcionamiento.

1.1.4 Alcance del proyecto

El proyecto está destinado a la construcción de una línea prototipo para producción de ONE PIECE, de acuerdo a los requerimientos de la empresa auspiciante para tener una producción de 800 piezas mensuales de manera automática evitando la menor intervención humana, tanto por hechos de ergonomía como de minimizar los errores. Contará con una interfaz humana máquina, fácil de manipular para las personas encargadas de las líneas. Y un control manual para calibración del equipo.

1.1.5 Metodología

La metodología para la realización del proyecto a implementar de acuerdo a las respectivas etapas de la metodología científica de análisis, diseño, implementación y evaluación son:

- Para el diseño:
 - Empezar con el mecanismo manual para el posterior desarrollo automático.
 - Considerar especificaciones técnicas de máquinas similares.
 - Fijar los requerimientos técnicos de diseño.
 - Se utilizará la bibliografía y normas referentes a diseño de máquinas y estructuras.
 - Para el diseño y elaboración de partes, ensambles y simulaciones se utilizará SOLIDWORKS.

- Se utilizará catálogos de selección para los elementos neumáticos y de control eléctrico.
- Se priorizará la utilización de elementos de fabricación nacional.
- Se analizarán las características de la maquinaria para la implementación de sensores y actuadores en el proceso.
- Para la manufactura
 - Se realizará en el área de Mantenimiento de la empresa FV Área Andina División Sanitarios.
- Para la automatización y el control
 - Se lo implementara por medio de un PLC Siemens, con la respectiva interfaz para el operario.
 - Se seleccionará los sensores de acuerdo a los requerimientos.

1.2 Líneas de conformación cerámica

La finalidad del conformado de piezas cerámicas es dar forma a las piezas por medio de materiales arcillosos que para cada tipo de conformado debe tener un grado consolidado de humedad.

El proceso de conformación cerámica cuenta con una estricta y compleja secuencia que inicia con la recepción de la adecuada materia prima hasta la comercialización de las piezas terminadas, como se muestra en la figura 1:

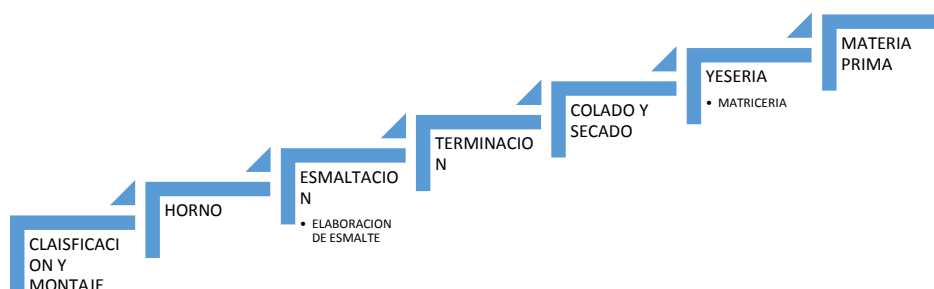


Figura 1. Diagrama de proceso de producción.

La base primordial de cualquier proceso productivo es la materia prima, en este caso no deja de ser así, esta es manejada y recibida bajo estándares requeridos por la empresa, tanto para la elaboración de barbotina, esmaltes y yesos.

La base de la cerámica es la barbotina, que es una pasta arcillosa mezcla de algunos componentes que se agregan en medidas predeterminadas para poder tener una consistencia necesaria para su trabajo y manipulación. La pasta debe estar en continua circulación por las tuberías, mediante bombas para evitar que se solidifique y cause problemas como taponamiento o avería de las bombas, también debe estar libre de elementos extraños como metales por lo que cuenta con los respectivos elementos de seguridad que eviten este inconveniente. La barbotina se debe distribuir a todas las líneas en el área de colado, donde es distribuida en cada uno de los moldes de yeso previamente elaborados en el área de matricería.

Los moldes son hechos de yeso ya que el mismo permite la correcta formación de la pieza con la barbotina, ya que este tiene la capacidad de absorber la humedad y formar una pared que es la que da la forma del molde. De igual manera los diferentes tipos de moldes de yeso que se utilicen darán

la adecuada forma a la pieza. Estos moldes tiene una determinada vida útil dependiendo de qué tan rápido se saturan, es decir pierden su capacidad de absorber humedad.

En el área de colado que es donde la barbotina sufre los mayores cambios, dando las formas a cada una de las piezas, hasta convertirse en estructuras sólidas. El proceso posterior al llenado de los moldes consiste en el adecuado cumplimiento de los tiempos que darán las características propias a la pieza, estos tiempos se definen como toma de espesor, moldeo con aire, reposo, entre otros. Estos tiempos son variantes de acuerdo al número de llenadas que se haga en la línea y del uso de los moldes, es decir el desgaste que tienen los mismos. Un detalle imprescindible en el colado, es que los moldes deben estar correctamente alineados y sellados, de tal forma que se eviten derrames y malas formaciones en la pieza. Este sellado se consigue por medio de prensas manuales o mecánicas.

Otro aspecto que se toma en cuenta es en la presión con al cual se cola las líneas que generalmente está en 2 PSI, aunque varía igualmente dependiendo del tipo de molde y de su tamaño, con esto se elimina residuos de barbotina que pueden causar serios problemas el momento de quemar la pieza. Cada una de las piezas debe ser desmoldada, es decir retirada del molde con el mayor cuidado posible, asegurando en este proceso que la pieza sufra el menor daño posible. De esto depende la calidad de la pieza.

Las piezas antes de ingresar al horno deben estar totalmente secas y terminadas, es decir con la menor cantidad de rebabas y lo más lisas posibles, permitiendo una mejor absorción del esmalte.

En el horno la pieza se cocina durante 12 horas aproximadamente. Finalmente las piezas son clasificadas de acuerdo a su calidad y algunas son tomadas como muestra para tener un control de la calidad o tener pruebas de montaje e hidráulicas.

1.2.1 Partes de una línea de conformación cerámica

Los principales componentes en una línea de conformación cerámica son las que se muestran en la figura 2.



Figura 2. Partes Línea de Conformación cerámica.

Fuente: Unimak, 2013

1.2.2 Descripción del funcionamiento de una línea de baja presión

El proceso de conformación de piezas inicia preliminarmente con la preparación de los moldes para ayudar un fácil desmolde, posterior a esto se

prensa a los moldes de manera horizontal con la ayuda de una prensa manual de tornillo sin fin-tuerca, el mismo que esta adosado a un coche móvil. Para armar todas las partes del molde se coloca la superior, denominada tapa, la cual se suspende en el aire por medio de contrapesos, la tapa se asegura con el molde por medio de prensas manuales que vienen incluidas en los coches que tiene cada molde.

Para el llenado de la línea en primer lugar se debe cerciorar que la línea este sin residuos, para lo que se procede a cebar la línea en la tubería que transporta la pasta. A continuación se llenan los embudos de ser el caso, hasta un nivel previamente definido y se llenan los moldes hasta tener un equilibrio de presiones entre el nivel del embudo y el de los moldes llenos.

El tiempo que se le da a las piezas en los moldes en reposo le da el espesor que tendrá la pieza posterior al colado de la barbotina restante, el mismo varía de acuerdo al uso de la línea y el desgaste de los moldes. Acabado la toma de espesor se procede a colar la línea entera con la ayuda de aire a baja presión, y que le da la consistencia necesaria.

Para proceder con la extracción de la pieza del molde en algunos casos se utiliza medios mecánicos dependiendo de la complejidad de la pieza o se lo realiza manualmente, todo de acuerdo a condiciones de ergonomía para el trabajador.

El número de veces que se llena una línea diariamente depende principalmente del tipo de pieza que se esté realizando y del número de llenadas que haya tenido el molde.

1.3 Descripción del proceso de diseño

Por el nivel de integración que tiene la tecnología hoy en día y la gran variedad de artefactos que nos sirven para facilitarnos la vida cotidiana, las industrias también presentan un vertiginoso avance principalmente en temas de ergonomía y mejoramiento de la producción con sistemas automatizados.

Uno de los inconvenientes es que los sistemas de automatización actuales no cuentan únicamente con partes mecánicas o eléctricas, sino una conjugación de ambas y además controladas por medio de sistemas computacionales. De todas las ramas de la ingeniería, la mecatrónica facilita el manejo de estos aspectos, tanto en el desarrollo de los modelos mecánicos, el accionamiento que estos implican, y el debido control que además brinde las seguridades necesarias que estos deban tener, asegurando el correcto funcionamiento del proceso y el bienestar de las personas involucradas con este.

Por lo tanto el proceso del diseño mecatrónico no varía del de los demás ramas de la ingeniería, aunque conjuga algunos aspectos de todas ellas.

1.3.1 Identificación del problema

De acuerdo a lo descrito en los antecedentes la empresa Franz Viegner Área Andina S.A. en su división Sanitarios, presenta la necesidad de desarrollar un modelo de Línea de producción de sanitarios, en la cual se mejoren aspectos tales como la ergonomía al momento de trabajar en el desmolde de la pieza o en llenado y proceso de colado, con un mejor control de los tiempos de proceso.

Esta línea de producción se la proyecta para un producto nuevo que es el modelo ONE PIECE, que por su complejidad y tamaño requieren todas las bondades previamente descritas. El objetivo en primer lugar con esta línea prototipo es producir 40 piezas diarias. Por todo esto la empresa auspiciante del presente proyecto se ve motivada al desarrollo de esta línea prototipo que cuente con las garantías descritas y facilidades para cada uno de los aspectos que se ven inmersos en la manufactura de este producto.

1.3.2 Análisis del problema

Para el desarrollo del proyecto y con el objetivo de cumplir todos los requerimientos de la empresa auspiciante se debe presentar la mejor solución al problema propuesto tomando siempre en cuenta el aspecto económico y el desarrollo tecnológico, sin olvidar el aporte de la empresa. De acuerdo a esto y teniendo siempre presente estos aspectos se determinan los problemas a resolver, descritos a continuación:

- Estructura de soporte de moldes y equipamiento.
- Mecanismo de desmolde de la pieza.
- Mecanismo de levantamiento de las tapas.
- Llenado y colado de moldes automáticamente.
- Desarrollo de una interfaz gráfica adaptable y fácil de manipular.
- Uso de maquinaria y tecnología local.

1.3.3 Especificaciones y requerimientos de la maquinaria

De acuerdo a diferentes modelos y especificaciones de máquinas de desmoldeo existentes y guiándose por los requerimientos de la sección de

Colado de la empresa auspiciante, se establecen los siguientes parámetros bajo los cuales se encaminara el desarrollo de la línea prototipo automática de desmolde:

- Dimensiones de la línea de desmolde: 10000x6000x2800 mm.
- Capacidad de producción: 20 piezas por línea.
- Coche de desmolde ergonómico y móvil aplicable en las dos líneas, con guías en cada una.
- Sistema de coches de acuerdo a dimensiones del molde.
- Mesas de moldes con inclinación definida por colado y regulable.
- Levantamiento de las tapas de los moldes con mecanismo automático.
- Llenado automático de la línea con el uso de válvulas de neumáticas.
- Sensores para la detección del nivel en embudo.
- Interfaz de usuario: visual con configuración de tiempos y auditiva para señalar el transcurso de los tiempos adecuados de proceso.
- Ventiladores monofásicos de bajo ruido y funcionamiento horizontal.
- Ventilación dirigida en dos posiciones y accionamiento por grupos de los ventiladores.
- Control de temperatura en producción y recuperación de moldes: 35°C – 40°C y 40% humedad.

1.3.4 Descripción de las posibles alternativas

Tomando en cuenta todas las especificaciones técnicas requeridas por la empresa FV Área Andina S.A. para la construcción de la Línea prototipo y

para brindar soluciones a los distintos aspectos que abarca el mismo, se detalla cada uno a continuación donde se analiza las posibles soluciones.

Para cada una de las soluciones planteadas se analiza en primer lugar la dificultad de construcción y control del mecanismo, como su efectividad. Y luego el costo que llevara el mismo, de acuerdo a los elementos que contendrá cada uno de ellos.

Empezando en la tabla 1 se presentan las soluciones para las mesas de moldes con inclinación, la misma que es completamente construida de acero.

Tabla 1. Alternativas para Mesa de moldes con inclinación.

Solución	Mecanismo	Dificultad	Costo
Mesa regulable manual	Pernos ajustables con platina agujereada.	Baja	Baja
Mesa regulable automática	Con motor adosado a un eje central en la mesa.	Alta	Alto

Para dar algunas variantes para el coche de desmolde se presentan las siguientes opciones tanto para el mecanismo de giro, el agarre del desmoldador con los coches de los moles, así como para el accionamiento de cada uno de los mecanismos mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Alternativas para coche de desmolde

Solución	Mecanismo	Dificultad	Costo
Desmoldador neumático con mecanismo de mordazas	Brazos de giro accionados neumáticamente. Mordazas en forma de cuña	Media	Medio
Desmoldador oleoneumático con mecanismo de sujeción con pines.	Brazos de giro adosados al eje, accionados con pistones oleo-neumáticos, con mecanismo de sujeción con pines a cada coche.	Alta	Alto

De la misma forma para el levantamiento inclinado de las tapas se analiza las siguientes posibilidades, mostradas en la tabla 3, tanto para el mecanismo como para el soporte de las tapas y el método de guías para mantener el levantamiento de manera inclinada y perpendicular al molde.

Tabla 3. Alternativas para el levantamiento inclinado.

Solución	Mecanismo	Dificultad	Costo
Levantamiento con tornillo de fuerza, y sistema de prensado con manguera de aire. Estructura de soporte de tapas con pernos.	Tornillo de fuerza accionado con motor y variador de frecuencia, para el prensado utiliza un sistema de clavijas y la manguera para tener una presión constante. Guías que eviten el desgaste al trabajar de forma inclinada.	Alta	Alto
Levantamiento con pistones hidráulicos que además realizan el prensado de las tapas. Estructura de soporte con pernos.	Tres pistones hidráulicos por línea accionados por la misma unidad hidráulica. Usados los mismos para el prensado y levantamiento. Guías inclinadas para evitar el desgaste excesivo de las camisas de los pistones.	Media	Alto

Para el control de la ventilación dirigida se presentan las alternativas mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Alternativas para la ventilación dirigida

Solución	Mecanismo	Dificultad	Costo
Ventiladores monofásicos adosados a una estructura con chumaceras, giro accionado por cilindro neumático.	Chumaceras en la estructura que permiten un giro sencillo con un menor desgaste. Y cilindro neumático que permite el posicionamiento de los ventiladores.	Baja	Baja
Ventiladores monofásicos adosados a una estructura con chumaceras, giro accionado por moto reductor y variados de velocidad	Chumaceras en la estructura que permiten un giro sencillo con un menor desgaste. Y actuador eléctrico con moto reductor adosado el eje, para posicionamiento de los ventiladores.	Media	Alto

Finalmente como alternativas de solución para el sistema automático de control eléctrico y neumático se presenta la tabla 5.

Tabla 5. Alternativas para el control

Solución	Actuadores	Dificultad	Costo
Control con LOGO y accionamiento por pulsadores.	Neumáticos y eléctricos controlados por un programa con tiempos establecidos y con manejo manual.	Media	Bajo
Control con PLC y pantalla HMI.	Neumático y eléctricos controlados por la pantalla y configuración de los tiempo de proceso en tiempo real. Con manejo manual	Alta	Medio

1.3.5 Selección de alternativas

De acuerdo a las alternativas propuestas para cada uno de los problemas planteados, se define la siguiente matriz para la selección apropiada de cada uno de los sistemas que permitirá un óptimo diseño de acuerdo a parámetros establecidos por la empresa y por el diseñador, pensando siempre en dar la

mejor solución para la empresa. La escala de la matriz se la estable en valores que varían entre 1 y 10, siendo 10 el más alto y conveniente.

Por lo mostrado en la tabla 6, las mejores opciones como se presentan son en resumen un control automático con PLC y pantalla HMI para manipular los tiempos de proceso y los demás actuadores. Con un desmolde realizado por cilindros hidráulicos que elevaran las tapas de los moldes en la mesa inclinada previamente de forma manual y fija, para un posterior desmolde de la pieza terminada con un coche accionado neumáticamente.

Para el proceso se utilizará ventilación dirigida accionada por un cilindro neumático y controlado por la pantalla. Y finalmente el sistema de llenado de los moldes será con válvulas de accionamiento neumático y control eléctrico. Toda la sala contará con un sistema de calefacción que es una extensión de la Unidad Térmica Acondicionada que cuenta la empresa.

SISTEMA	Mesa regulable		Desmoldador		Levantamiento inclinado		Ventilación dirigida		Control	
	Manual	Eléctrica	Neumático	Oleo-neumático	Pistón	Tornillo	Neumático	Motor	Logo	PLC
Costo bajo	9	5	7	4	8	4	9	5	9	7
Dificultad de construcción o implementación	8	5	7	6	7	6	8	5	7	6
Mantenimiento	10	6	8	6	8	4	9	7	8	8
Seguridad	8	9	8	8	9	8	9	6	5	10
Facilidad de operación	10	7	8	8	6	6	9	7	5	9
Asesoría técnica	10	8	9	5	9	9	9	8	8	8
Disponibilidad	10	6	9	4	7	6	9	5	8	8
Repuestos	10	8	9	5	8	7	9	5	8	8
TOTAL	85	54	65	45	62	50	71	48	58	64

Tabla 6. Matriz de selección de alternativas.

1.3.6 Consideraciones finales de diseño

A partir de los problemas planteados y dentro del grupo de soluciones se ha tomado en cuenta ciertas consideraciones de diseño, campo de acción y herramientas; las cuales se definirán en los siguientes gráficos explicativos:

Las consideraciones y normas de diseño, aplicables y que se utilizaran, se definen en la figura 3:

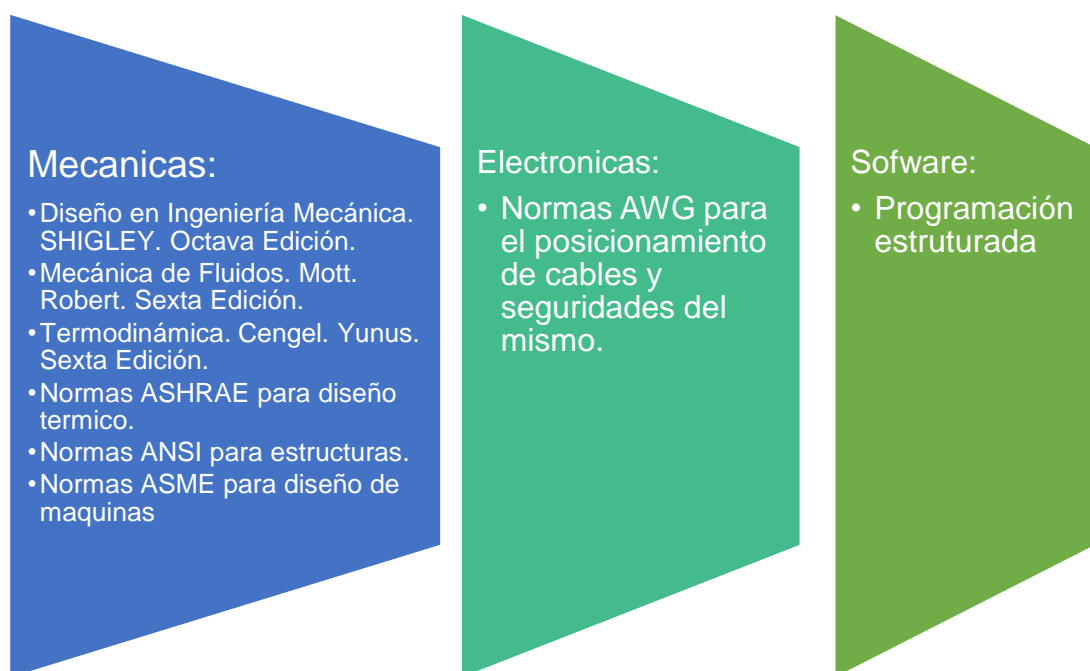


Figura 3. Consideraciones de diseño.

Los campos de acción en los cuales se desarrollara el proyecto se presentan en la figura 4, los mismos que se definen de acuerdo a los requerimientos presentados previamente para cada una de las fases de diseño.

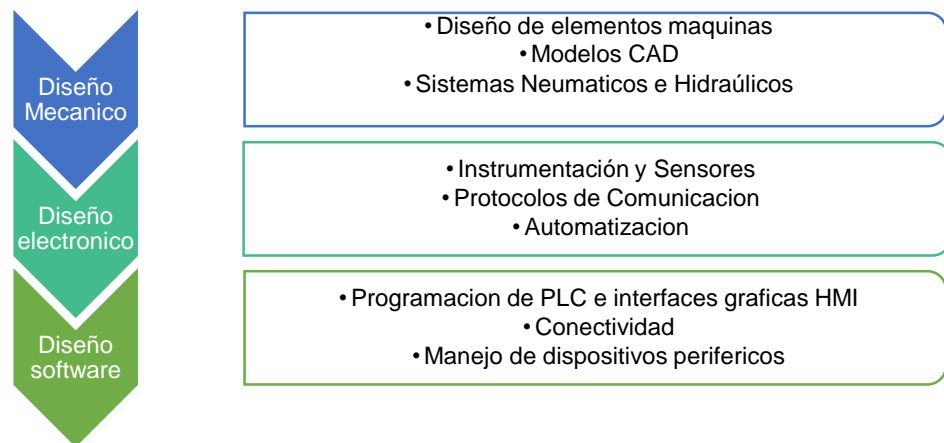


Figura 4. Campos de acción.

Finalmente las herramientas consideradas para todo el desarrollo son las mostradas en la figura 5, que principalmente radican en el software utilizado.

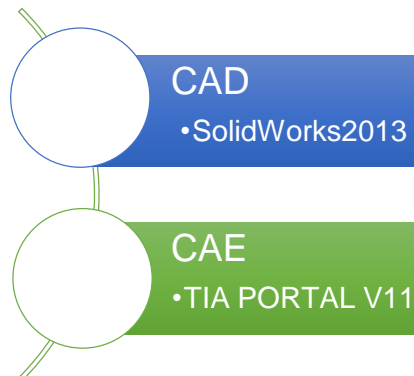


Figura 5. Herramientas empleadas.

CAPITULO II

2. Diseño Mecánico

En este capítulo se procederá con el diseño mecánico, mecanismos y partes tanto del sistema de desmolde y elementos neumáticos o hidráulicos del mismo. Además del sistema de elevación y elementos hidráulicos para este.

En primer lugar se procede con los elementos estructurales tanto de las mesas de moldes y de lavado, y las estructuras que soportaran el sistema de levantamiento y los grupos de ventiladores. Definiendo el sistema de guías y soporte del sistema de levantamiento. Por otro lado el sistema neumático para el giro de los ventiladores. Terminando con el mecanismo y estructura que constituirán el coche de desmolde. Finalmente el análisis térmico que nos permitirá escoger la mejor opción para el sistema de climatización.

2.1 Diseño de la línea de desmoldeo semiautomática

La línea de desmoldeo la conforman cinco sistemas fundamentales, los cuales deben actuar de manera secuencial o conjunta dependiendo de cada uno.

El primero de ellos es el sistema de llenado de moldes, que lo ejecutan los coladores con la ayuda de un conjunto de válvulas que se deben abrir en los tiempos apropiados del proceso.

A continuación los sistemas de desmolde, que en primera instancia se debe encargar del levantamiento de las tapas, de manera conjunta, procurando que estas no dañen la pieza ya formada. Y continuando con el

desmolde de la pieza ya terminada que con el coche debe permitir desmoldar cada una de las piezas de la línea de producción una por una en el menor tiempo posible y con el menor esfuerzo que amerite el caso.

En todo momento los sistemas de ventilación dirigida de cada una de las líneas deben actuar independientemente el uno del otro, y de la misma manera el sistema de calefacción debe permitir tener las condiciones apropiadas para el proceso.

Cada uno de estos elementos tomados anteriormente en cuenta se deben definir completamente y diseñar para que la línea de producción cumpla con los requerimientos establecidos.

2.2 Consideraciones principales de diseño

Los sistemas mecánicos a diseñar y construir están principalmente definidos por estructuras de soporte y mecanismos para cada una de los sistemas descritos en el apartado anterior. Además de la selección y diseño de elementos neumáticos, hidráulico y de aislamiento térmico, los mismos que se describen a detalle a continuación:

Sistema de levantamiento inclinado: la principal función es elevar las tapas de los moldes de yeso y prensarlas, con un mecanismo sencillo por medio de cilindros hidráulicos que se posicionan perpendiculares a la estructura que soporta todas las tapas, es decir debe mantener la misma inclinación para asegurar que la pieza salga sin golpes. La velocidad de desplazamiento es controlada por la unidad hidráulica que cuenta con los reguladores del caso.

Además esta cuenta con una estructura que soporta los cilindros y todas las tapas levantadas.

La exactitud del desplazamiento se lo asegura con un conjunto de guías, adosadas a la estructura, que son regulables y desmontables, para facilidad en su instalación.

Coche desmoldador de piezas: el principal objetivo de este es la extracción de la pieza ya formada con el menor esfuerzo para los coladores, con un mecanismo de brazos de palanca para el giro a posición vertical, además de un mecanismo de cuñas que permita la sujeción del coche con el molde y la pieza, finalmente para el transporte del coche desmoldador a cada uno de los moldes se utilizan guías con rodamientos. Toda la fuerza y el control se lo realizan por medio de elementos neumáticos, como son dos cilindros de doble efecto para el giro y dos mini cilindros para el accionamiento de las cuñas. Y el control con pulsadores en orden secuencial.

Ventilación dirigida: permitirá aplicar ventilación forzada en dos posiciones, en los moldes para recuperación y las piezas ya desmoldadas. Para ese fin se utiliza un pistón neumático que ejerce la fuerza necesaria en un costado de la estructura que soporta los ventiladores y con la ayuda de las chumaceras facilita el giro en conjunto del grupo de ventiladores.

2.3 Diseño de la estructura

De acuerdo a las especificaciones dadas por la empresa FV Área Andina S. A. los elementos estructurales tienen como finalidad principal soportar tanto los moldes y las piezas terminadas, además de los elementos

hidráulicos y neumáticos para el desmolde, todo esto se lo implementa en un área dispuesta por la misma empresa auspiciante de 12x12x10 metros.

2.3.1 Esquema y definición de la estructura

En primer lugar se deben diseñar las mesas que soportarán todos los moldes y cumplan con la característica de tener la inclinación previamente definida. Posteriormente los coches que transportaran los moldes y permitan un montaje eficiente, estos se deben acoplar a la forma del molde el cual se muestra en la figura 6.



Figura 6. Forma de los moldes.

A continuación la estructura que soportará el coche desmoldador dentro del cual albergará los elementos neumáticos de control y de fuerza.

También se debe diseñar la estructura principal que soportará los cilindros hidráulicos que elevarán las tapas, en conjunto con la estructura que mantendrá fijas las tapas, cumpliendo con la necesidad de ser adaptable para cada cambio de moldes. La misma estructura que soportará los cilindros también mantendrá los grupos de ventiladores en la posición requerida, y

contará con una estructura metálica en forma de marco para agrupar los ventiladores.

2.3.2 Análisis estructural

Como parte del diseño estructural se debe tener presente los pesos de los distintos componentes de los moldes, al mismo se los divide en cinco, las cuales que se especifican en la tabla 7:

Tabla 7. Pesos reales del molde.

Ítem	Descripción	Cantidad	Peso [kg]
1	Base	1	57,5 kg
2	Lateral	2	72 kg c/u
3	Tapa	1	28,5 kg
4	Taseles	10	40 kg
PESO TOTAL			270 kg

Fuente: División matricería FV

El primer elemento a tener presente es la mesa que soportará tanto los moldes como la pasta que llenara los mismos, cumpliendo con la condición de tener la inclinación requerida para el proceso, y manteniendo más que nada la forma y las dimensiones generales de los modelos de mesas ya construidos, los principales elementos que componen el mismo son las siguientes:

- Patas regulables.
- Guías para coches de moldes y coche desmoldador.
- Prensas fija y móvil.

En la figura 7 se aprecia los elementos descritos con su ubicación en la estructura.



Figura 7. Mesa de moldes.

El siguiente elemento primordial que se diseña son los coches para los moldes, los mismos vienen en grupos, un coche central que será el encargado de soportar tanto a la base del molde, los taseles y la pieza terminada y dos coches pequeños para soportar dos laterales cada uno.

El primero debe mantener la forma del molde, contar con agujeros que permitan cuadrar el molde que viene con una parrilla metálica en la base para el momento del montaje y que cuenta con una estructura que permitirá juntar el coche desmolador y el coche central.

El segundo debe mantener la forma y contar con un elemento que evite que los moldes se deslicen.

Para empezar con el diseño del coche, se debe cumplir con que tenga la forma del molde y basándose en coches ya construidos en la empresa, como diseño preliminar se lo estructura con tubo cuadrado de 1 ¼ pulgada y espesor

de 3 milímetros. Y con ángulo de 4 pulgadas para poder dar lo forma deseada como se aprecia en la figura 8.

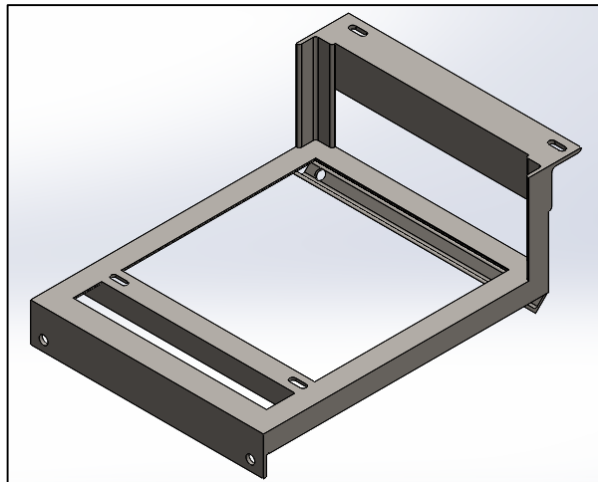


Figura 8. Coche de moldes.

Otro dato importante es el peso que soportará el coche, el mismo que se lo toma de la tabla 7, de la misma se aprecia que el peso será de 97,5 kilogramos, al que se le debe añadir el peso de la pieza húmeda que es de 40 kilogramos, por lo tanto el peso máximo es de 138 kilogramos, al mismo que se le toma un factor de seguridad de 1.2, por lo que el peso de diseño es de 165kg.

Se debe asegurar que este elemento no falle principalmente a flexión ante el peso que soportará, para el mismo se hace el cálculo respectivo y se comprueba con la ayuda de SOLIDWORKS, como se aprecia en la figura 9, que el mismo no falla a flexión los puntos más críticos se encuentran ubicados donde van los pines para los rodamientos.

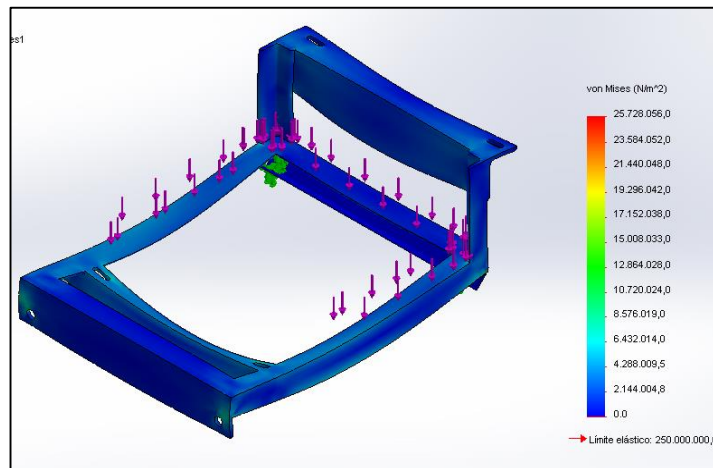


Figura 9. Coche de moldes – Análisis a flexión.

También se hace un análisis de factor de seguridad. Mostrado en la figura 10, del que se obtiene un factor alto, que asegure que este mismo tipo de coche pueda ser utilizado para distintos tipos de moldes.

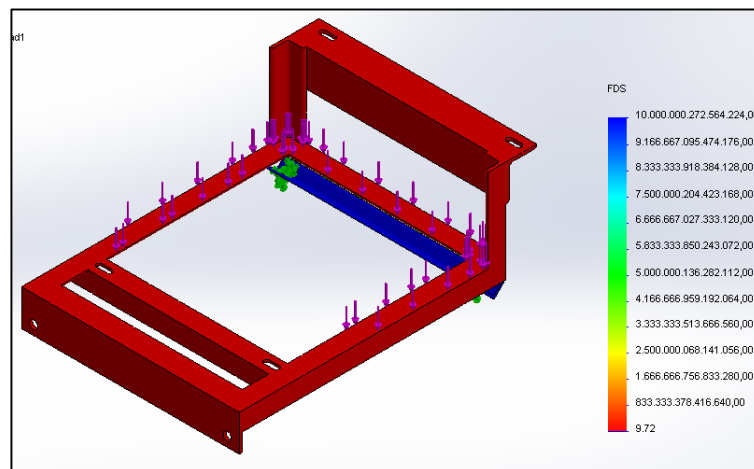


Figura 10. Coche de moldes – Factor de seguridad.

Además a este coche se le debe añadir una L formada con platinas que servirá como elemento para el giro del coche desmoldador. El mismo se construye con platinas de 2 pulgadas y de espesor de 10 milímetros, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Estructura L.

El siguiente elemento estructural importante, que de igual manera se toma como base una estructura ya implementada en la empresa, a la cual se la realiza las adecuaciones necesarias para poder incluir a la misma los cilindros y los grupos de ventiladores, es la estructura de soporte y la estructura de las tapas.

La primera estructura que va aquí es la que soporta los ventiladores la que debe permitir agrupar a todos y los mismos que vienen en grupo de diez por lado, por facilidad de montaje y de construcción se escoge la forma de marco el mismo que debe soportar el peso de los ventiladores, cada uno de los cuales pesa 5 kilogramos cada uno, por la forma de los ventiladores se plantea el diseño con un marco de 1 ½ pulgadas por 3 milímetros de espesor. Y cuenta con un eje soldado al centro del marco para poder juntarlo con las chumaceras que facilitaran el giro del grupo de ventiladores.

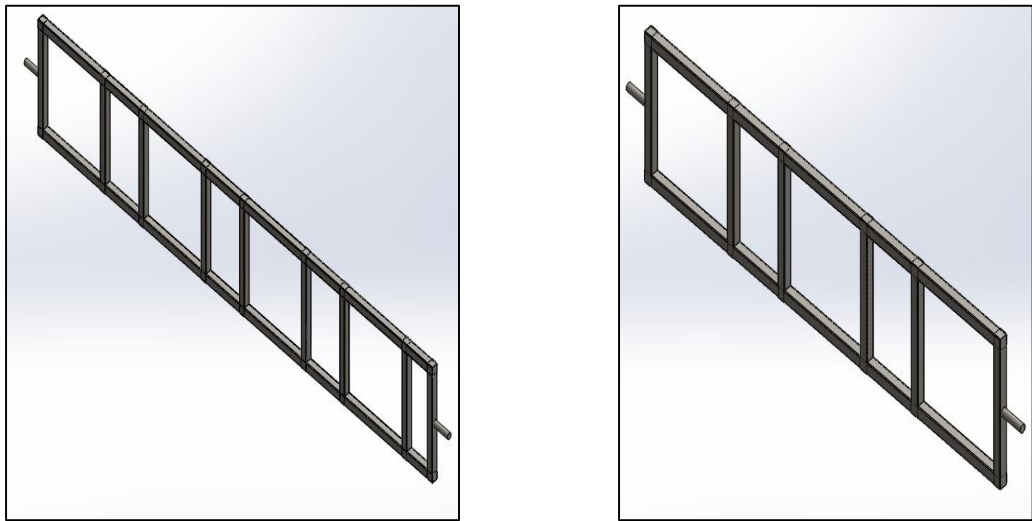


Figura 12. Marco Ventiladores.

A continuación la estructura que soporta las tapas se la define como en la figura 13, la misma cuenta con tubo rectangular de 4 pulgadas por 4 milímetros de espesor con platinas de 4 pulgadas y espesor de 3 milímetros, planchas de tool negro de 12 milímetros para las uniones con cada uno de los cilindros, de esta manera la estructura es fácil de montar y transportar. Finalmente el acople entre los cilindros y la estructura mostrado en la figura 14 se lo hace con un eje con rosca interna soldado a una placa de 12 milímetros que se acopla al cilindro hidráulico que viene roscado.

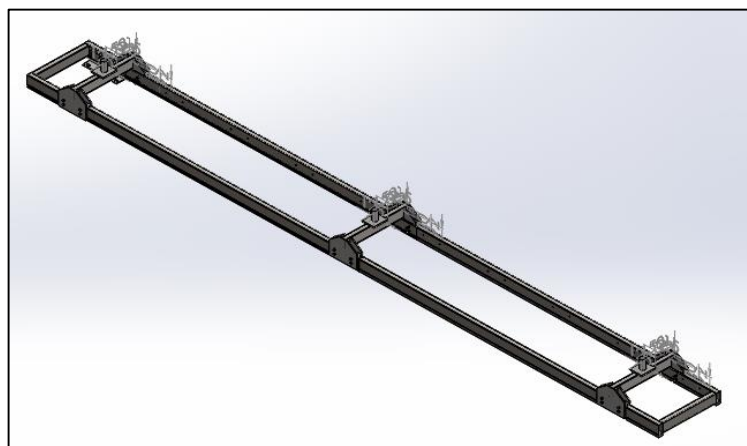


Figura 13. Estructura soporte de tapas.

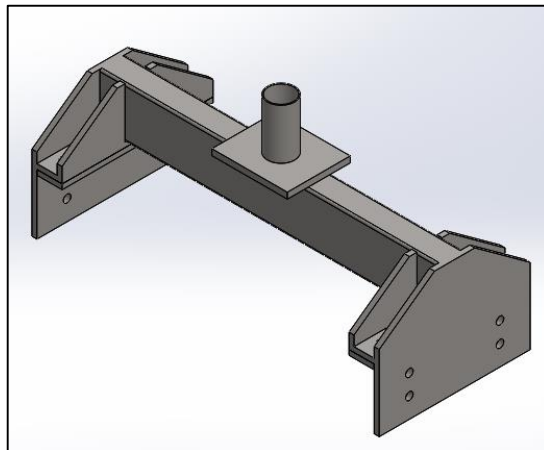


Figura 14. Brazo soporte de tapas.

El peso que debe soportar es de 285 kilogramos por el grupo de tapas, la misma que viene con una parrilla metálica y se acopla con la estructura con una plancha metálica doblado en forma de L mostrada en la figura 15 y con agujeros para poder acoplarlo a la estructura con pernos.

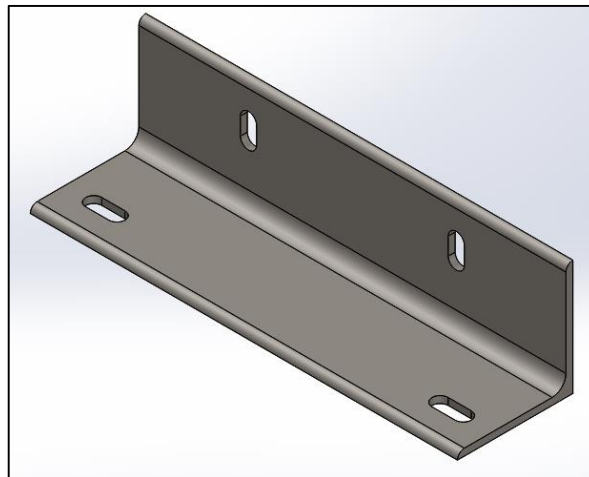


Figura 15. Angulo troquelado.

Con todos estos datos de las cargas para la estructura principal se realiza el cálculo, tomando en cuenta que la misma tiene la forma mostrada en la figura 16:

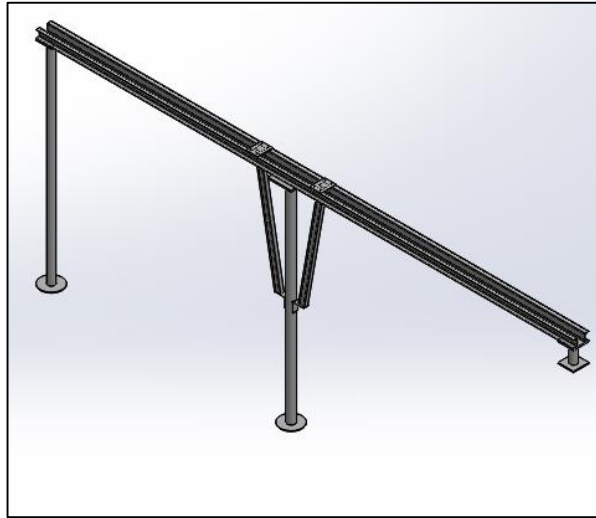


Figura 16. Estructura de soporte.

Las cargas que soportará son las siguientes:

- Grupo de ventiladores: 70 kilogramos.
- Cilindros hidráulicos: 80 kilogramos.
- Estructura de levantamiento incluido las tapas: 600 kilogramos.
- Iluminación: 30 kilogramos.

De las simulaciones se obtiene los resultados mostrados para el factor de seguridad en la figura 17 y para flexión en la figura 18, que aseguran que la misma no fallará para la carga que está diseñada. Y también en la figura 19 se observa el análisis para el desplazamiento unitario, en el que el máximo supera los 5 mm.

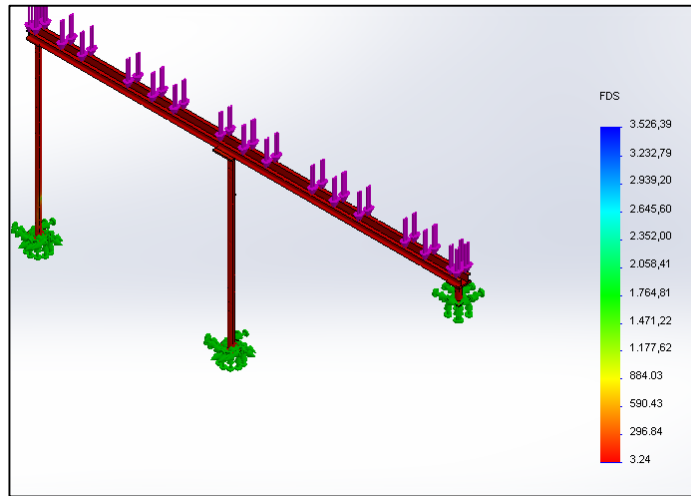


Figura 17. Análisis de factor de seguridad – Estructura de soporte.

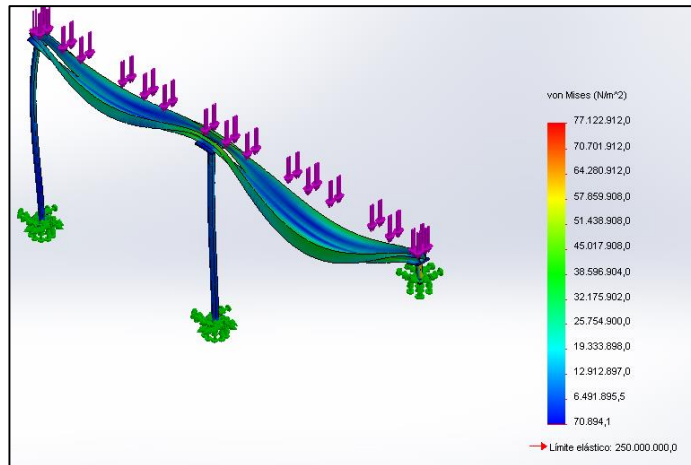


Figura 18. Análisis de Esfuerzos – Estructura de soporte.

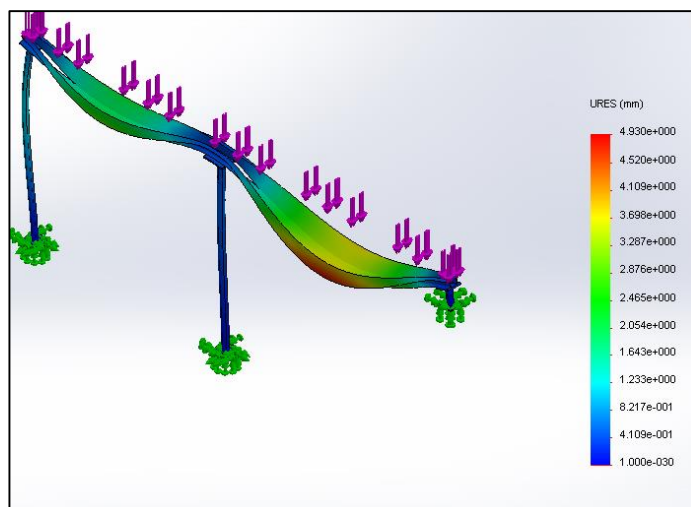


Figura 19. Análisis de desplazamiento unitario – Estructura de soporte.

Para comprobar de manera numérica en primer lugar se debe determinar la inercia de la viga, conformada como se muestra en la figura 20, en la que se especifican las medidas del mismo

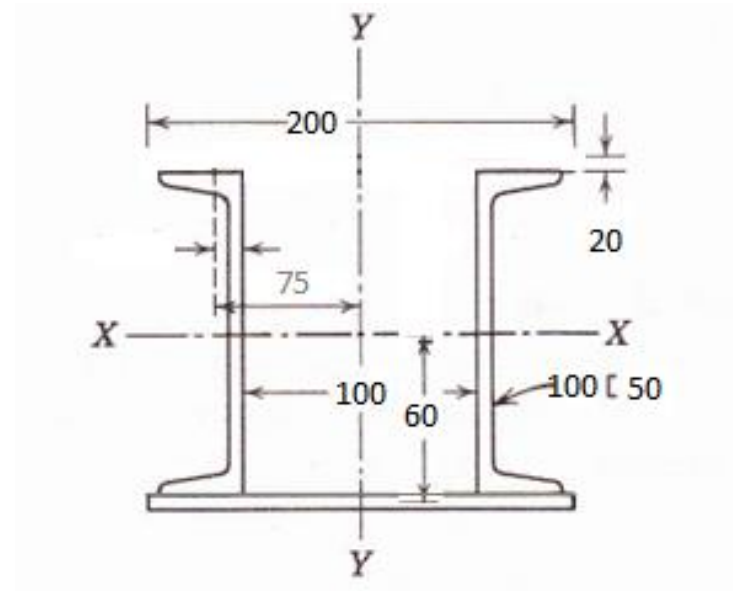


Figura 20. Viga compuesta

Fuente: Paker Harry. Ingeniería Simplificada para arquitectos y constructores. 3ra edición. Editorial Limusa.1981.Español.

En primer lugar la inercia de este tipo de UPN se obtiene de la hoja técnica del proveedor, mostrada en la figura 21, donde la inercia X-X es de 206 cm⁴. Como son dos perfiles UPN la inercia es de 412 cm⁴. A la que se le debe añadir la inercia de la placa que tiene un espesor de 20mm. Donde la inercia la placa es:


$$I_{xx} = \frac{bd^3}{12}$$

Ecuación 2.1

**PERFILES LAMINADOS
UPN**

Especificaciones Generales

Calidad: ASTM A36
Otras calidades: Previa Consulta
Largo normal: 6.00m y 12.00m
Otros largos: Previa Consulta
Acabado: Natural
Otro acabado: Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES						TIPOS					
	h mm	a mm	g mm	t mm	ft mm	Rt mm	SECCION cm ²	PESOS kg/ml	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	W _x cm ³	W _y cm ³
UPN 50	50	34	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.59	25.40	9.12	10.90	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.80	9.93	7.00	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.84	106.00	19.40	28.50	8.38
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.80	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.49
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	384.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.80	20.40	16.00	605.00	62.70	88.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	119.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1250.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.80	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.60
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3690.00	248.00	300.00	39.60
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.80	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.80	58.80	48.20	8030.00	405.00	535.00	67.80

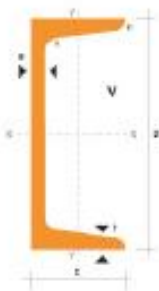


Figura 21 Viga compuesta

Fuente: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3407

$$I_{placa} = 13.33 \text{ cm}^4$$

Como la placa no se encuentra en el eje X-X, se aplica el teorema de Steiner, el cual quedaría expresado de la siguiente manera:

$$I_{xx} = I_{placa} + Ah^2 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde el área es el área transversal.

$$I_{xx} = 13.33 + 20 * (6)^2$$

$$I_{xx} = 1453.33 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto la inercia total es la suma de las inercias de los perfiles UPN y de la placa.

$$I_T = 1856.33 \text{ cm}^4$$

A continuación para definir si se falla a flexión se utiliza la expresión:

$$\frac{M}{f} = \frac{I}{c} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$f = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

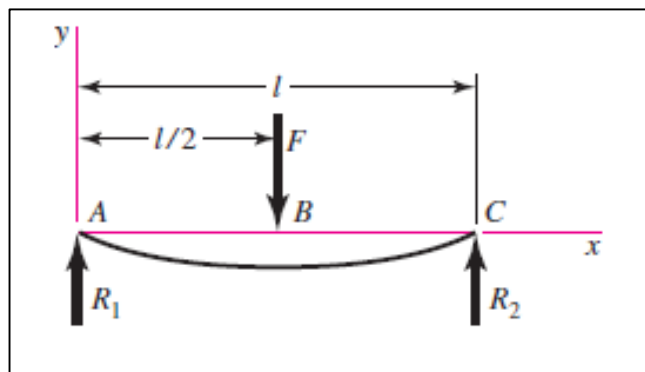


Figura 22. Diagrama de fuerzas estructura

Fuente: Shigley J.E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 8va Edición. McGran-Hill.2006. Inglés. Tabla A-9. pp 995

$$M = \frac{Fx}{2} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde la fuerza ejercida por cada pistón es de 200 kg, aproximadamente, al que se le deba añadir el peso del cilindro que es de 80kg, el sistema se aproxima al mostrado en la figura 22.

$$M = 2100000 \text{ Nmm}$$

$$f = \frac{2100000Nmm \times 60 \text{ mm}}{18563300mm^4}$$

$$f = 6.78 \text{ MPa}$$

Que analizando con un método por esfuerzo permisible, nos da que es mucho menor que el esfuerzo de fluencia del acero A36, el cual es de 250 MPa.

Analizando el desplazamiento máximo se comprueba, por medio de la siguiente expresión:

$$Y_{max} = -\frac{Fl^3}{48EI} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$Y_{max} = -4.94 \text{ mm}$$

También se encuentra bajo valores normados ya que la deflexión recomendada es de 5mm, empleando la norma L/360.

2.3.3 Selección de materiales e implementos

Como tabla de resumen de los elementos seleccionados para la estructura principal se tiene:

Tabla 8. Material estructura de levantamiento.

Elemento	Cantidad
Tubo vapor cedula 40 4"	4
UPN 100x6	7
Plancha de tool 12mm 1,22x2,44	1
Duralón redondo 80mm	2

Tabla 9. Material Estructura de mesas y coches.

Elemento	Cantidad
Angulo 1 1/2x1/8x6M	23
Angulo 1 1/4x3/16x6M	8
Arandela plana 1/2"	24
Arandela presión 1/2"	24
Perno hexagonal 1/2x1 1/2	24
Perno hilty de 3"x3/8	50
Pintura Blanca TAN 400	2
Plancha tool 3mm 1,22x2,44	2
Plancha Triplex 15mm	6
Platina 1 1/2 x 3/8 x 6 M	2
Platina 1 1/2 x 1/8 x 6M	6
Platina 1"x3/8x6M	12
Platina 2"x3/8x6M	9
Platina 3"x1/4x6M	3
Platina 3"x3/8x6M	5
Tubo rectangular 60x40x2mmx6M	17
Tuerca hexagonal 1/2	74
Tuerca hexagonal 3/4	52
UPN 100x6	8
UPN 80x6M	6
Varilla lisa 3/8 x 6 M	1
Varilla lisa redonda 3/4	2
Varilla roscada 3/4	9

2.4 Diseño del mecanismo de prensado y desmoldeo

Para el mecanismo de prensado como se mencionó en el apartado 1.3.4, el apropiado sistema de prensado y levantamiento es con cilindros hidráulicos con guías laterales para evitar desgaste en los cilindros.

2.4.1 Esquema de la estructura ensamblada

El esquema que se muestra en la figura 23, realizado en SOLIDWORKS, muestra la forma principal del sistema de prensado y desmoldeo.

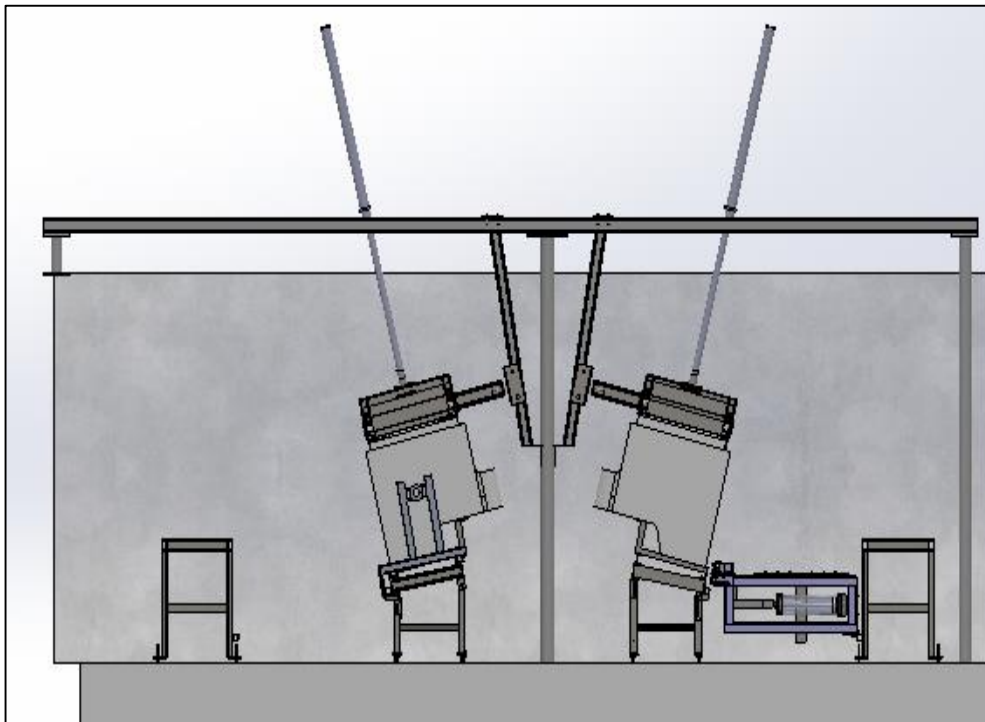


Figura 23. Esquema de levantamiento y prensado

2.4.2 Cálculos hidráulicos de fuerza, dimensionamiento y selección de materiales

Para el dimensionamiento de los cilindros hidráulicos, se estima tanto la fuerza para levantar el grupo de tapas y la fuerza para prensar.

El peso que se va a levantar es de 600 kilogramos, por lo que la fuerza que debe generar por parte de cada uno de los cilindros es de 200 kilogramos aproximadamente para la elevación de las tapas.

Para el prensado, se debe mantener el grupo de tapas sin elevarse ni moverse, lo que implica que los cilindros hidráulicos deben contrarrestar la fuerza generada por la barbotina dentro de los moldes es decir el empuje. Por lo tanto la fuerza debe ser mayor o igual al empuje, el cual se lo determina de la siguiente manera:

$$E = \rho g V$$

Ecuación 2.7

Donde la densidad de la barbotina es cerca de:

$$\rho = 1,8 \frac{gr}{cm^3} = 1850 \frac{kg}{m^3}$$

Asumiendo el volumen del molde como un par de bloque como se indica en la figura 24.

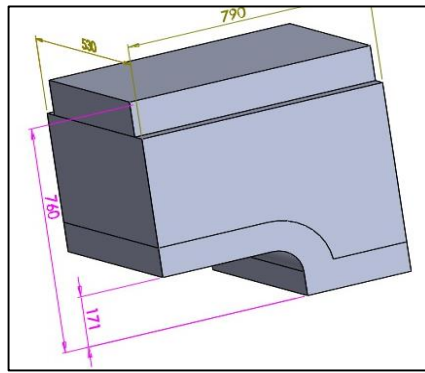


Figura 24. Forma del molde.

Aproximadamente el volumen del molde es de 0.12 m^3 , o 120 litros.

Por lo tanto se tiene que:

$$E = 1850 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.12 \text{ m}^3$$

$$E = 2175.6 \text{ N}$$

$$E = 217,5 \text{ kg}$$

La línea al contar con diez moldes, el empuje total generado por el grupo de moldes es de:

$$E = 2175 \text{ kg}$$

Teniendo presente un factor de seguridad de 1.2.

$$E = 2610 \text{ kg}$$

La fuerza mínima que deben generar el grupo de cilindros debe ser de 2610 kg, que se deben distribuir para los tres cilindros, por lo que cada cilindro debe generar 900 kilogramos de fuerza el momento del prensado como valor mínimo, el valor máximo lo dicta el coche de soporte del molde, por el conjunto de rodamientos guías que el mismo tiene.

Un factor importante para el dimensionamiento del cilindro hidráulico que se debe tomar en cuenta es el pandeo del eje por la distancia que debe extenderse para presionar, que es de un metro para no tener problemas con el desmolde, para el cálculo del mismo se emplea la siguiente formula:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_k^2} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

N_{cr} : Carga máxima de pandeo.

E : Módulo de elasticidad del acero. Para cilindros hidráulicos se utiliza acero SAE 1045 cromado, cuyo valor es de 540 MPa.

I : Inercia del área transversal.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Para determinar el diámetro necesario, se utiliza la siguiente formula:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * f_s * N_{cr} * L_k^2}{\pi^3 * E}} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$d = 62.4 \text{ mm}, \text{ con un } f_s \text{ de } 1.8$$

Donde se toma el más cercano comercialmente, que es de 63.5 mm o de 2 ½ pulgadas.

Además de los cilindros de la medida especificada y carrera antes descrita, se deben seleccionar los elementos para el control del caudal y la presión hacia los mismos, por lo tanto cada uno de los cilindros debe contar con reguladores de caudal unidireccionales en las entradas de cada uno de los cilindros, para poder controlar que los tres actúen de forma simultánea, también un regulador de caudal general que pueda controlar el flujo general hacia cada uno de los grupos de cilindros. Cabe aclarar que la misma unidad hidráulica controlara los dos grupos de cilindros.

Como elemento de control, esta unidad hidráulica debe tener un presóstato, el mismo que servirá para manejar la presión que se ejercerá por parte de los cilindros en el molde cerrado desde la parte superior.

Con todos estos requerimientos se manda a fabricar la unidad hidráulica y a colocar los elementos correctamente distribuidos en la misma para tener acceso a un fácil mantenimiento y manipulación de los mismos.

2.4.3 Sistema de volteo y levantamiento de la pieza

Como ya se describió en el apartado 1.3.4 la mejor alternativa para el volteo y levantamiento de la pieza, es un coche desmoldador, completamente neumático, cuyo modo de accionamiento para el giro es por medio de palancas y para el apriete es por cuñas accionadas con mini cilindros neumáticos, un esquema principal del coche se aprecia en la figura 25.

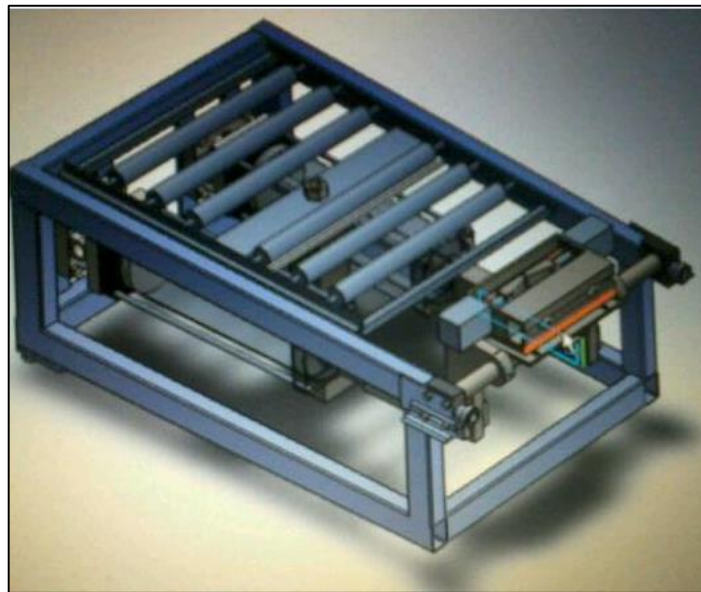


Figura 25. Esquema del coche de desmoldeo.

2.4.4 Análisis estático

Para la correcta selección de los elementos de fuerza que son los cilindros neumáticos, el principal análisis a realizar es la fuerza necesaria para poder levantar la base del molde, en conjunto con la pieza húmeda y los taseles, que como se especificó en el apartado 2.3.2, es de 165 kg, el mecanismo a emplear es de palanca, en el que un movimiento lineal, provoca un movimiento de rotación como se muestra en la figura 26.

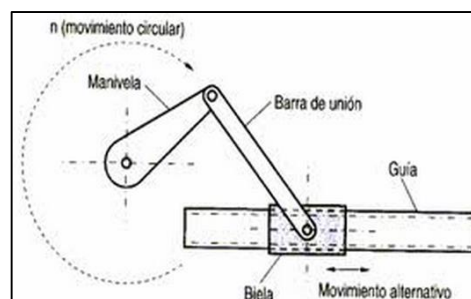


Figura 26. Diagrama de palanca.

Fuente: <http://puertaalinfiernohistoriasdeultratumba.blogspot.com/>

El diagrama para el análisis de fuerzas es el mostrado en la figura 27:

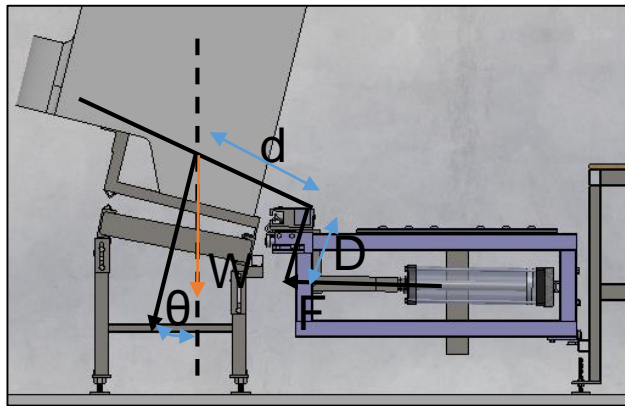


Figura 27. Diagrama de fuerzas.

Haciendo un análisis de torque en el punto de giro, se tiene que:

$$W \cos \theta * d = F * D \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Por lo tanto la fuerza generada debe ser mayor para vencer la inercia del peso:

$$F = \frac{W \cos \theta * d}{D} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

F= Fuerza necesaria para levantar el peso.

d= Distancia del punto O al centro de masa a levantar.

D= Distancia del brazo de giro.

$$F = 325 \text{ kg}$$

Contando con un factor de seguridad de 1.2, se tiene:

$$F_{necesaria} = 390 \text{ kg}$$

Para los cilindros de apriete de las cuñas se debe más que nada seleccionarlos para la medida de carrera requerida, ya que la fuerza que el

mismo debe hacer es despreciable y solo debe vencer el rozamiento de la cuña.

2.4.5 Diseño de los circuitos de control y potencia neumáticos

Para la alimentación de todos los circuitos neumáticos, se empleara el sistema de aire comprimido de la empresa por lo que todos deberán contar con unidad de mantenimiento o FRL.

El circuito de potencia, cuenta con dos cilindros grandes para el giro, otro para la elevación y dos mini cilindros para el apriete.

El circuito de control debe cumplir la siguiente secuencia:

- Se acciona los cilindros de apriete.
- El mecanismo hace girar el molde y la pieza con los cilindros de giro.
- Los cilindros de giro hacen retornar el carro con el molde.
- El cilindro de elevación, levanta la pieza.
- El cilindro regresa a la posición inicial.
- Regresan los cilindros de apriete a la posición inicial.
- Cada proceso se debe realizar al presionar un botón.
- Y debe contar con un paro de emergencia del giro.

De acuerdo a los requerimientos mencionados, los respectivos circuitos para el giro, levantamiento y apriete se muestran en las figuras 28, 29 y 30 respectivamente:

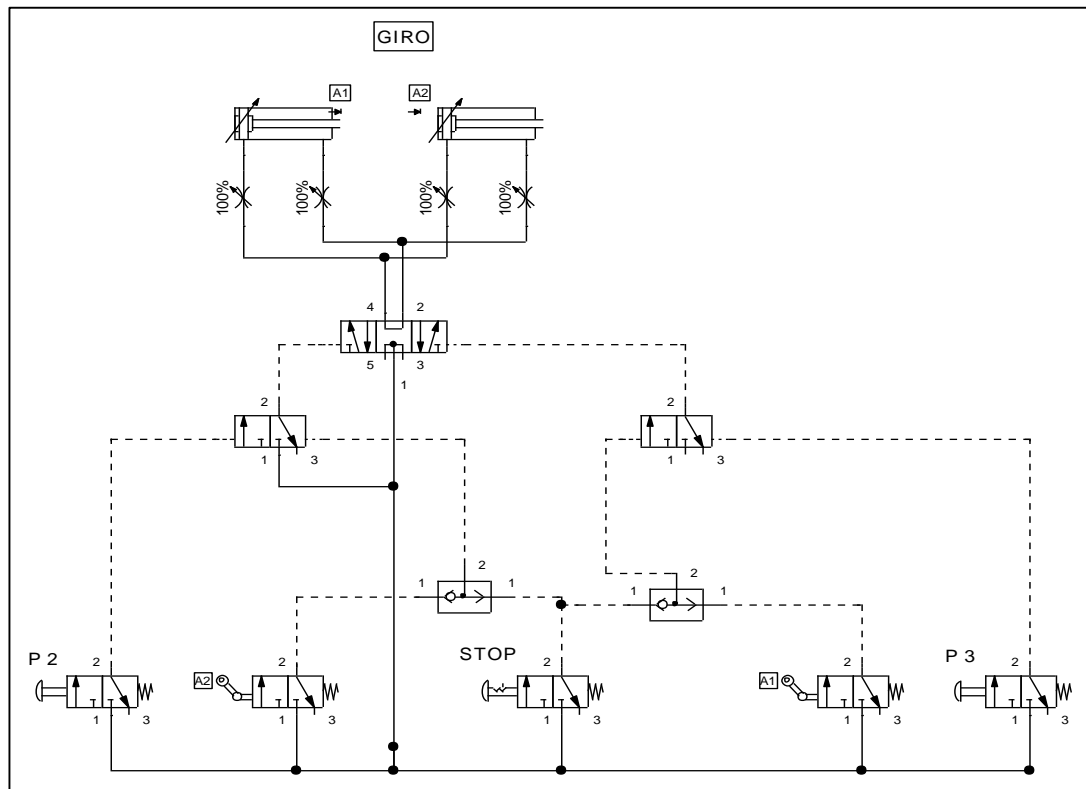


Figura 28. Circuito Neumático de giro.

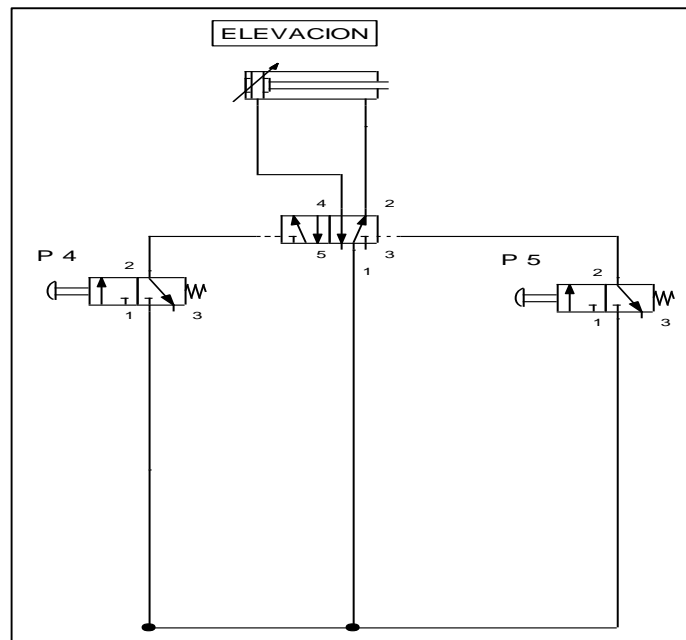


Figura 29. Circuito Neumático de elevación.

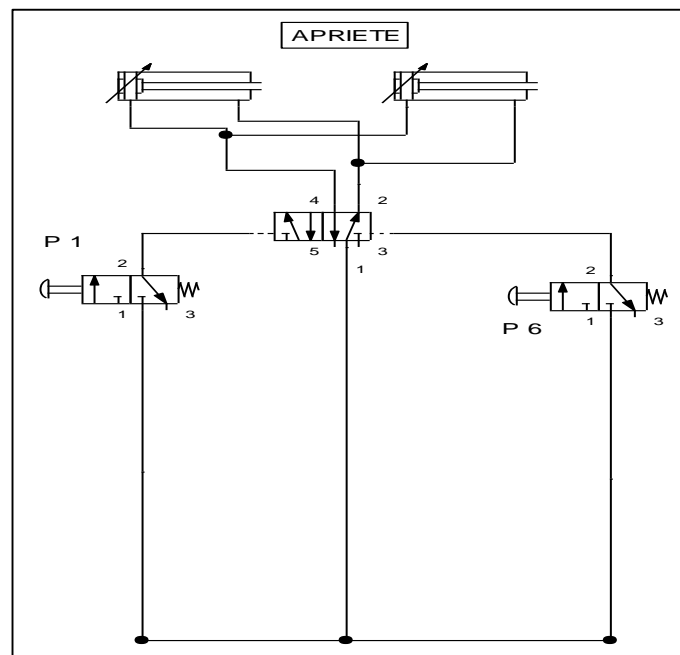


Figura 30. Circuito Neumático de apriete.

A partir de los circuitos descritos anteriormente se elabora un listado de los elementos a utilizar, los mismos que se detallan en la tabla 10.

Tabla 10. Material para circuitos neumáticos.

Cantidad	Descripción
2	Cilindros neumáticos para el giro
2	Cilindros neumáticos para el apriete
1	Cilindro neumático para la elevación
4	Válvulas Reguladoras de caudal para cilindros de giro
1	Válvula 5/3 accionamiento neumático.
4	Válvulas 5/2 accionamiento neumático.
2	Válvulas selectoras OR.
6	pulsadores 3/2 accionamiento manual retorno por muelle
2	pulsadores 3/2 accionamiento rodillo retorno por muelle
1	pulsador 3/2 paro de emergencia

2.4.6 Cálculos y selección de elementos de fuerza y control.

Cada uno de los elementos será seleccionado, de acuerdo al catálogo del proveedor. En primer lugar se selecciona los cilindros para el giro. Cabe recordar que todos los equipos serán de marca METALWORK, utilizada

ampliamente en la empresa y que presentan un buen funcionamiento y baja mantenibilidad.

El tipo de cilindro recomendado para este trabajo es los de la serie ISO 1552, como se muestra en la figura 31.



Figura 31. Cilindro serie ISO 1552.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013.

Entre las características básicas de este tipo de cilindros se destacan las mostradas a continuación, en la hoja técnica del cilindro donde se puede apreciar las partes del mismo y las presiones de trabajo en la figura 32.

DATOS TÉCNICOS	POLIURETANO	NBR	FKM/FPM	Baja Temperatura
Presión de trabajo	máx 10 bar (máx 1 MPa = 145 psi)			
Temperatura de funcionamiento Ø 32 + 63	-20°C+80°C (Cil. no magnética)	-10°C+80°C (Cil. no magnética)	-10°C+150° (Cil. no magnética)	-35°C+80°C
Ø 80 + 125	-20°C+70°C (Cil. magnética)	-10°C+70°C (Cil. magnética)	-10°C+150° (Cil. no magnética)	-35°C+80°C
	-10°C+80°C (Cil. no magnética)	-10°C+80°C (Cil. no magnética)	-10°C+150° (Cil. no magnética)	-35°C+80°C
	-10°C+70°C (Cil. magnética)	-10°C+70°C (Cil. magnética)		
Fluido	Aire sin lubricación, si se utiliza aire lubricado la lubricación debe ser continua			
Diámetros	Ø 32 ; Ø 40 ; Ø 50 ; Ø 63 ; Ø 80 ; Ø 100 ; Ø 125			
Tipo de construcción	Culatas con tornillos autoforantes			
Carreras standard †	Simple efecto: para diámetros de Ø 32+63 carreras de 0 a 250 mm Efecto doble: para diámetros de Ø 32+80 carreras de 25 a 2800 mm para diámetros de Ø 100+125 carreras de 25 a 2600 mm			
Versiones	Doble efecto amortiguado, Simple efecto vástago retraído amortiguado, Vástago pasante amortiguado, Amortiguamiento prolongado, Alta temperatura, Bloqueo de vástago, Estanqueidad aceite, Vástago pasante estanqueidad aceite, Bajo rozamiento, Anti skip-slip.			
Imanes para sensores	Todas las versiones con detección magnética a petición suministrado sin detección			
Presión de arranque	Ø 32;40: 0.4 bar Ø 50;63 carrera < 1500 mm: 0.3 bar; carrera ≥ 1500 mm: 0.4 bar Ø 80;100;125 carrera < 1500 mm: 0.2 bar; carrera ≥ 1500 mm: 0.4 bar			
Fuerza a desarrollar a ó bar en empuje/tracción	Ver DATOS TECNICOS GENERALES PAG. 1.1/05			
Peso	Ver DATOS TECNICOS GENERALES PAG. 1.1/06			
	Para versiones anti stick slip utilizar sólo aire sin lubricación			
	† carreras máximas aconsejables, valores superiores pueden crear problemas de funcionamiento.			

COMPONENTES

- ① VÁSTAGO: acero C45 o inox. cromado en profundidad
- ② CULATAS: en aluminio fundido a presión
- ③ JUNTAS VÁSTAGO: en poliuretano NBR o FKM/FPM
- ④ CASQUILLO DE GUIA: Fleje de acero con recubrimiento de bronce y PTFE
- ⑤ CAMISA: en aluminio perfilado anodizado
- ⑥ PISTON: en tecnopolimero autolubrificante con ojiva de amortiguación integrada (en aluminio con patín de PTFE para los diámetros 80-100-125)
- ⑦ JUNTAS PISTON: Poliuretano, NBR o FKM/FPM
- ⑧ IMANES: en plástolerrita
- ⑨ BUFER + OR estáticos: NBR o FKM/FPM
- ⑩ JUNTAS AMORTIGUACION: Poliuretano NBR o FKM/FPM
- ⑪ PUNZON: de amortiguación OT 58 con sistema de seguridad escape punzón con total apertura
- ⑫ TORNILLOS: de ensamble automático autoforantes (Top Tite)

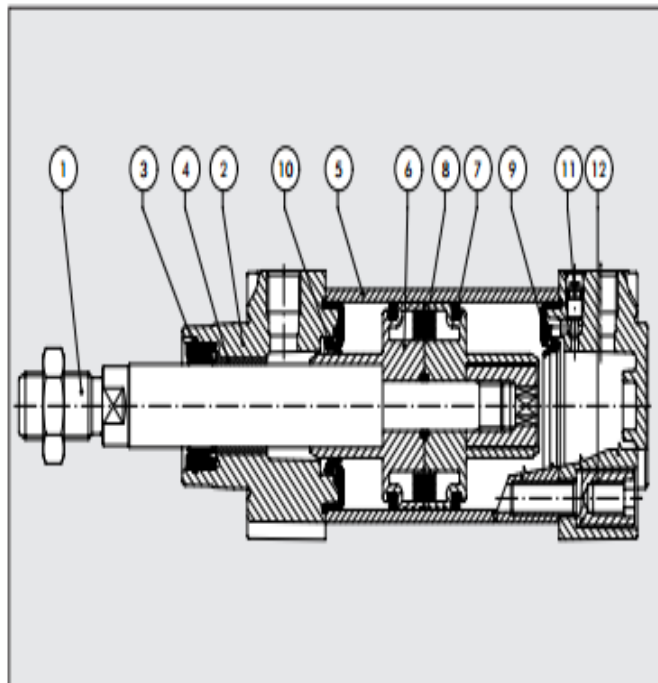


Figura 32. Características Cilindro serie ISO 15552.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013.

Como la fuerza generada por los cilindros de giro debe ser mayor, de acuerdo a tablas de selección del proveedor se tiene que el diámetro del

mm	d mm		cm ²	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar
8	4	thrust	0.50	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		traction	0.38	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0	3.4	3.8
10	4	thrust	0.79	0.8	1.6	2.4	3.1	3.9	4.7	5.5	6.3	7.1	7.9
		traction	0.66	0.7	1.3	2.0	2.6	3.3	4.0	4.6	5.3	5.9	6.6
12	6	thrust	1.13	1.1	2.3	3.4	4.5	5.7	6.8	7.9	9.0	10.2	11.3
		traction	0.85	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.1	5.9	6.8	7.6	8.5
16	6	thrust	2.01	2.0	4.0	6.0	8.0	10.1	12.1	14.1	16.1	18.1	20.1
		traction	1.73	1.7	3.5	5.2	6.9	8.6	10.4	12.1	13.8	15.6	17.3
16	8	thrust	2.01	2.0	4.0	6.0	8.0	10.1	12.1	14.1	16.1	18.1	20.1
		traction	1.51	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.6	12.1	13.6	15.1
20	8	thrust	3.14	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.8	22.0	25.1	28.3	31.4
		traction	2.64	2.6	5.3	7.9	10.6	13.2	15.8	18.5	21.1	23.8	26.4
20	10	thrust	3.14	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.8	22.0	25.1	28.3	31.4
		traction	2.36	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.1	16.5	18.8	21.2	23.6
25	8	thrust	4.91	4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.5	34.4	39.3	44.2	49.1
		traction	4.41	4.4	8.8	13.2	17.6	22.0	26.4	30.8	35.2	39.7	44.1
25	10	thrust	4.91	4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.5	34.4	39.3	44.2	49.1
		traction	4.12	4.1	8.2	12.4	16.5	20.6	24.7	28.9	33.0	37.1	41.2
32	12	thrust	8.04	8.0	16.1	24.1	32.2	40.2	48.3	56.3	64.3	72.4	80.4
		traction	6.91	6.9	13.8	20.7	27.6	34.6	41.5	48.4	55.3	62.2	69.1
40	12	thrust	12.57	12.6	25.1	37.7	50.3	62.8	75.4	88.0	100.5	113.1	125.7
		traction	11.44	11.4	22.9	34.3	45.7	57.2	68.6	80.0	91.5	102.9	114.4
40	16	thrust	12.57	12.6	25.1	37.7	50.3	62.8	75.4	88.0	100.5	113.1	125.7
		traction	10.56	10.6	21.1	31.7	42.2	52.8	63.3	73.9	84.4	95.0	105.6
50	16	thrust	19.63	19.6	39.3	58.9	78.5	98.2	117.8	137.4	157.1	176.7	196.3
		traction	17.62	17.6	35.2	52.9	70.5	88.1	105.7	123.4	141.0	158.6	176.2
50	20	thrust	19.63	19.6	39.3	58.9	78.5	98.2	117.8	137.4	157.1	176.7	196.3
		traction	16.49	16.5	33.0	49.5	66.0	82.5	99.0	115.5	131.9	148.4	164.9
63	16	thrust	31.17	31.2	62.3	93.5	124.7	155.9	187.0	218.2	249.4	280.6	311.7
		traction	29.16	29.2	58.3	87.5	116.6	145.8	175.0	204.1	233.3	262.5	291.6
63	20	thrust	31.17	31.2	62.3	93.5	124.7	155.9	187.0	218.2	249.4	280.6	311.7
		traction	28.03	28.0	56.1	84.1	112.1	140.2	168.2	196.2	224.2	252.3	280.3
80	20	thrust	50.27	50.3	100.5	150.8	201.1	251.3	301.6	351.9	402.1	452.4	502.7
		traction	47.12	47.1	94.2	141.4	188.5	235.6	282.7	329.9	377.0	424.1	471.2
80	25	thrust	50.27	50.3	100.5	150.8	201.1	251.3	301.6	351.9	402.1	452.4	502.7
		traction	45.36	45.4	90.7	136.1	181.4	226.8	272.1	317.5	362.9	408.2	453.6
100	25	thrust	78.54	78.5	157.1	235.6	314.2	392.7	471.2	549.8	628.3	706.9	785.4
		traction	73.63	73.6	147.3	220.9	294.5	368.2	441.8	515.4	589.0	662.7	736.3
125	32	thrust	122.72	122.7	245.4	368.2	490.9	613.6	736.3	859.0	981.7	1104.5	1227.2
		traction	114.68	114.7	229.4	344.0	458.7	573.4	688.1	802.7	917.4	1032.1	1146.8

vástago debe ser de 32 mm y del émbolo de 125 mm, como se aprecia en la figura 33.

Figura 33. Selección cilindro para el giro.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013.

La presión de trabajo de la misma se la fija en 4 bares y la carrera de este debe ser de 250 milímetros, la misma se la determina de acuerdo a la distancia existente entre las mesas y las dimensiones que tendrá el coche, las mismas se comprobaron en el software y con pruebas hechas con el coche armado.

El montaje de los mismos se hará con basculantes macho y hembra en la parte posterior para permitir movilidad al giro y evitar de esta manera una rigidez que causaría un desgaste excesivo en el vástago.

Para el cilindro de elevación se escoge el mismo tipo de cilindro, pero en otros diámetros para la carga especificada que se encarga de elevar la pieza húmeda con los taseles del tanque, que superan los 60 kilogramos, por lo tanto se escogen de acuerdo a la figura 2.25 el cilindro de diámetro 63 del embolo y 20 del vástago, con una carrera de 300 milímetros, trabajando a la misma presión, ya que la misma unidad de mantenimiento controlará la presión total del sistema.

Para el apriete, los dos cilindros deben ser del tipo compacto, denominados con la serie CMPC mostrado en la figura 34, con una carrera de 70 milímetros y un diámetro de 40 milímetros.



Figura 34. Cilindro compacto serie CMPC.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013.

En la figura 35 se muestran las características propias de este tipo de cilindro.

DATOS TÉCNICOS	POLIURETANO
Presión de trabajo	max 10 bar (max 1 MPa-145 psi)
Temperatura de trabajo	-10°C + 80°C
Fluido	Aire no lubricado, si utiliza aire lubricado, la lubricación debe ser continua
Fijaciones	mm Ø 12; Ø 16; intercambiable con productos análogos
	mm Ø 32; Ø 40; Ø 50; Ø 63; Ø 80; Ø 100 fijaciones norma ISO6431 VDMA 24562
	mm Ø 20; Ø 25; Ø 32; Ø 40; Ø 50; Ø 63; Ø 80; Ø 100 fijaciones norma NFE 49-004-1 y 2 (UNITOP)
Tipo de construcción	Camisa aluminio, testera con tornillos autoforjados
Versiones	Doble efecto, simple efecto vástago retraído y sólido, vástago pasante, simple efecto vástago pasante, doble efecto antirrotación, simple efecto antirrotación. Todas las versiones tienen la posibilidad de rosca macho o hembra en vástago
Magneto para sensor	Todas las versiones son completas de magneto, sobre pedido puede ser sin magneto
Nota de uso	Para su correcto funcionamiento es aconsejable usar aire filtrado a 50 µm
Presión de arranque	de Ø 12 a Ø 32: 0,6 bar - de Ø 40 a Ø 100: 0,4 bar
Fuerzas desarrolladas a 6 bar empuje/tracción	Ver DATOS TÉCNICOS GENERALES PAG. 1.1/05
Peso	Ver DATOS TÉCNICOS GENERALES PAG. 1.1/06

Figura 35. Selección cilindro para el giro.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013.

Un dato muy importante a conocer es el consumo de aire por parte del coche desmoldador, para el mismo se debe conocer el consumo de cada uno de los cilindros y de las válvulas de control.

Para todos los cilindros se utiliza la tabla mostrada en la figura 36, proporcionada por el proveedor:

Diámetro cilindro D mm	Diámetro eje d mm	Movimiento	Aire útil cm ³	Consumo de aire en empuje y tracción en Nl/cm de carrera, en función de la presión de ejercicio P en bar, a 20°C									
				1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar
12	4	empuje	1,13	0,0023	0,0034	0,0045	0,0057	0,0068	0,0079	0,0090	0,0102	0,0113	0,0124
		tracción	1,00	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110
16	6	empuje	2,01	0,0040	0,0060	0,0080	0,0100	0,0121	0,0141	0,0161	0,0181	0,0202	0,0221
		tracción	1,73	0,0035	0,0052	0,0069	0,0086	0,0104	0,0121	0,0138	0,0156	0,0173	0,0190
20	8	empuje	3,14	0,0063	0,0094	0,0126	0,0157	0,0188	0,0220	0,0251	0,0283	0,0314	0,0346
		tracción	2,64	0,0053	0,0079	0,0106	0,0132	0,0158	0,0185	0,0211	0,0238	0,0264	0,0290
25	12	empuje	4,91	0,0098	0,0147	0,0196	0,0245	0,0295	0,0344	0,0393	0,0442	0,0491	0,0540
		tracción	3,78	0,0076	0,0113	0,0151	0,0189	0,0227	0,0264	0,0302	0,0340	0,0378	0,0415
32	12	empuje	8,04	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064	0,072	0,080	0,088
		tracción	6,91	0,014	0,021	0,028	0,035	0,042	0,049	0,058	0,063	0,070	0,076
40	16	empuje	12,56	0,025	0,038	0,050	0,063	0,076	0,088	0,100	0,113	0,126	0,138
		tracción	10,55	0,021	0,032	0,042	0,053	0,063	0,074	0,088	0,095	0,106	0,116
50	20	empuje	19,63	0,039	0,059	0,079	0,098	0,118	0,137	0,157	0,177	0,196	0,216
		tracción	16,49	0,033	0,050	0,066	0,082	0,099	0,115	0,132	0,149	0,165	0,181
63	20	empuje	31,16	0,062	0,093	0,125	0,156	0,187	0,218	0,249	0,280	0,312	0,343
		tracción	28,02	0,056	0,084	0,112	0,140	0,168	0,196	0,224	0,252	0,280	0,308
80	25	empuje	50,24	0,100	0,150	0,200	0,250	0,301	0,351	0,402	0,452	0,502	0,552
		tracción	45,36	0,091	0,138	0,181	0,227	0,272	0,318	0,363	0,408	0,454	0,500
100	32	empuje	78,54	0,157	0,238	0,314	0,382	0,471	0,549	0,628	0,706	0,785	0,862
		tracción	70,50	0,141	0,211	0,282	0,352	0,423	0,493	0,564	0,635	0,705	0,775
125	32	empuje	122,66	0,245	0,368	0,490	0,613	0,736	0,859	0,981	1,104	1,226	1,349
		tracción	114,67	0,229	0,344	0,459	0,573	0,688	0,803	0,917	1,032	1,147	1,262
160	40	empuje	201,06	0,402	0,603	0,804	1,005	1,206	1,407	1,608	1,809	2,010	2,211
		tracción	188,49	0,377	0,565	0,754	0,942	1,130	1,319	1,508	1,696	1,884	2,073
200	40	empuje	314,15	0,628	0,942	1,257	1,571	1,885	2,199	2,513	2,827	3,145	3,456
		tracción	301,59	0,603	0,905	1,206	1,508	1,810	2,111	2,413	2,714	3,016	3,318

Figura 36. Tabla de consumo de aire de cilindros.

Fuente: Metalwork. Catálogo de cilindros. Edición 2013

Para el cálculo del consumo de aire para cada uno de los cilindros se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = C * L * N * nc \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

C= Consumo de aire $\left[\frac{l}{cm \text{ de carrera}}\right]$

L= Carrea del cilindro [cm]

N= Número de efectos del cilindro [U]

nc= Número de ciclos $\left[\frac{ciclos}{min}\right]$

Para lo cual, en los cilindros de giro se tiene, una carrera de 250 milímetros, N=2 por el número de efectos que tiene el cilindro, como se

desmoldan 10 piezas, se estima que el desmolde demora 2 minutos, por lo tanto $n_c=0.5$ ciclos/min. Y de acuerdo a la figura 2.31 el factor de consumo de aire, se estima en 0.613 para el empuje y 0.573 para la tracción.

Por lo tanto el consumo es para cada caso:

$$Q_{empuje} = 15.325 \frac{l}{min}$$

$$Q_{tracción} = 14.325 \frac{l}{min}$$

Para los cilindros de apriete, se tiene una carrera de 70 milímetros, además del mismo número de ciclos, por lo tanto $n_c=0.5$ ciclos/min y $N=2$. Finalmente de acuerdo a la figura 2.31 se tiene que el factor de consumo de aire, se estima en 0.063 para el empuje y 0.053 para la tracción.

Por lo tanto el consumo es para cada caso:

$$Q_{empuje} = 0.441 \frac{l}{min}$$

$$Q_{tracción} = 0.371 \frac{l}{min}$$

Por último el cilindro de levantamiento tiene una carrera de 300 milímetros, trabajando la misma cantidad de veces que los anteriores, por lo tanto $n_c=0.5$ ciclos/min y $N=2$. Tomando de la figura 2.31 se tiene que el factor de consumo de aire, es 0.156 para el empuje y 0.140 para la tracción.

Por lo tanto el consumo es para cada caso:

$$Q_{empuje} = 4.68 \frac{l}{min}$$

$$Q_{tracción} = 4.2 \frac{l}{min}$$

Con los datos de consumo de los cilindros, el proveedor recomienda el uso de manguera 6 para el sistema entero, por lo que todos los acoples rápidos, racores y demás accesorios, se los pide en ese diámetro.

Para los dos cilindros que hacen más fuerza, se recomienda el uso de manguera 10 para el de levantamiento y para el de giro.

Para corroborar este dato, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = v * A = v * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{Q * 4}{v * \pi}} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

D_{min} = Diámetro mínima.

Q = caudal en m³/s.

V = velocidad en flujo, en m/s. se toma como valor máximo 6 m/s.

Por lo tanto para los cilindros de trabajo, se tiene:

$$d = 0.074 \text{ m}$$

Donde como valor comercial se toma manguera de 10 milímetros, que tiene 8 milímetros de diámetro interno.

Por lo tanto todos los elementos de control y fuerza escogidos para el control y fuerza el coche desmoldador se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Material para Coche desmoldador.

Ítem	N°	Elemento
1	2	CILINDRO DOBLE EFECTO D:100 C:250
2	4	REGULADOR DE CAUDAL TIPO BANJO
3	1	VÁLVULA NEUMÁTICA 5/3 MONOESTABLE
4	2	VÁLVULA NEUMÁTICA 3/2 BIESTABLE
5	2	VÁLVULA SELECTORA OR
6	6	VÁLVULA MANUAL 3/2 PARA MANDO
7	2	VÁLVULA MECANICA 3/2 TIPO RODILLO
8	2	CILINDRO COMPACTO D:40 C:70
9	2	ACC. BASCULANTE MACHO BA-125
10	2	ACC. BASCULANTE HEMBRA B-125
11	1	FRL ½ 20 MICRAS MANUAL SEMI AUTOMATICO
12	4	TEE PARA MANGUERA 6
13	1	DISTRIBUIDOR 2 ENTRADAS ¼ 10 SALIDAS 1/8
14	1	VÁLVULA MANUAL 3/2(5/2) PUSH PULL
15	2	VÁLVULA NEUMÁTICA 5/2 BIESTABLE
16	1	CILINDRO DOBLE EFECTO D:63 C:300
17	2	REGULADOR DE CAUDAL TIPO BANJO
29	1	FRL ½ 20 MICRAS MANUAL SEMI AUTOMATICO

El resultado final tanto para la estructura y de los sistemas de desmolde se presenta en las figuras siguientes.

**Figura 37.** Línea doble automática.



Figura 38. Coche desmoldador.

2.5 Diseño del sistema de acondicionamiento térmico.

2.5.1 Esquema del sistema térmico a acondicionar

De acuerdo a las dimensiones, el volumen que se desea acondicionar es de 605 m³, el mismo que se divide en las siguientes áreas, donde cada uno de ellos tiene un aislamiento compuesto como se indica en la figura 39.

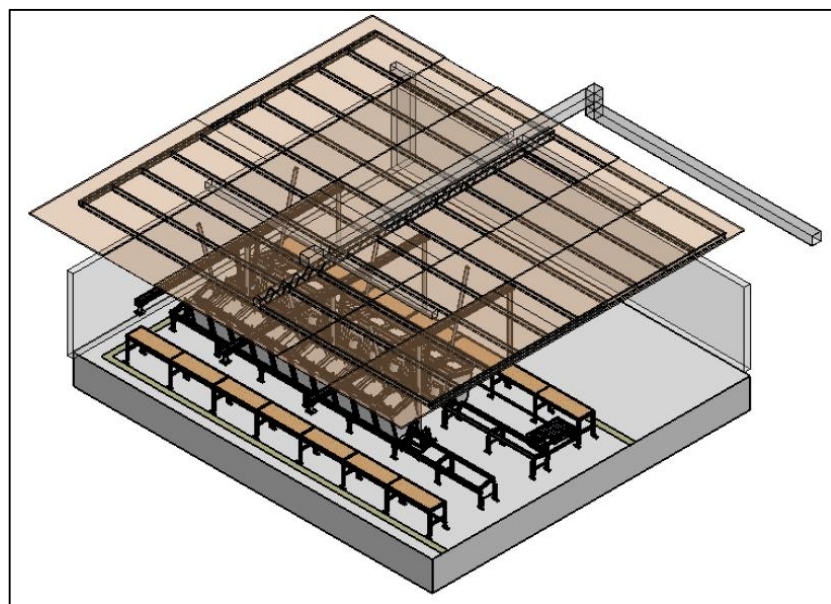


Figura 39. Áreas Aisladas.

Área del techo: aislante de planchas de poliuretano expandido PU (KUTERMICO), con policarbonato. El área total es de 144 m².

Área de la pared 1 y pared 2: se divide en dos secciones, la una compuesta por poliuretano expandido de 26.4 m² y una pared de hormigón de 24 m².

Área de la pared 3 y pared 4: se divide en dos secciones de igual manera, las dos compuestas con galvanume y hormigón. Se diferencian en que la pared cuatro está en contacto con una sala aclimatada y la otra cuenta con puertas y tiene contacto con el ambiente.

2.5.2 Análisis térmico del área a acondicionar.

Como datos previos al diseño se toma un factor de resistencia térmica para el poliuretano expandido KUTERMICO de $5,81 \frac{m^2 K}{W}$, dato del proveedor.

Para los demás materiales se tiene los siguientes factores de conductividad (k):

$$\text{Acero A36 } 51.9 \frac{W}{mK}$$

$$\text{Hormigón } 1.63 \frac{W}{mK}$$

Y como coeficientes de convección se toma los siguientes valores para cada caso:

$$h = 0,1634 \frac{m^2 K}{W}, \text{ para posición horizontal y flujo de calor descendente.}$$

$$h = 0,1075 \frac{m^2 K}{W}, \text{ para posición vertical y flujo de calor ascendente.}$$

$$h = 0.1204 \frac{m^2 K}{W}, \text{ para posición horizontal y cualquier tipo de flujo.}$$

Por lo tanto para determinar el calor que se pierde por todas las paredes y por lo tanto cual es el necesario aportar para mantener la sala en las condiciones deseadas, se plantea:

$$q_x = U * A * \Delta T \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Donde:

q_x : calor perdido en cada área.

U: coeficiente global de transferencia de calor.

A: Área de transferencia.

ΔT : Diferencia de temperatura.

Para cada caso el coeficiente global de transferencia se lo determina de la siguiente manera, ya que como se aprecia en la figura 2.31 el análisis es similar para cada caso, variando únicamente la posición.

$$U_x = \frac{1}{h_x + \frac{L_i}{k_i} + h_y} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Por lo tanto para cada caso, se tiene que:

$$U_{techo} = 0,164 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{pared\ 1,2} = 0,165 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{hormigon\ 1,2,3,4} = 3,309 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{pared\ 3,4} = 4.153 \frac{W}{m^2K}$$

Por otro lado se toma como temperatura interna de la sala 35°C, el caso más extremo de temperatura ambiental en 6,8°C para la madrugada, como media para la ciudad de Quito. Y de 25°C con la sala climatizada junto a la que se desea controlar.

Para obtener el calor necesario, se toma en suma todo el calor perdido por cada área, con lo que se obtiene que el calor necesario es:

$$q_{TOTAL} = 9000W$$

Además se necesita el valor de flujo de aire, que se necesita en esta sala, por lo que se asume, que para este volumen un cambio de aire cada 15 minutos es necesario, por lo que se tiene:

$$CAI = \frac{\text{Numero de cambio cada hora} * \text{volumen}}{60}$$

$$CAI = 40,3 \text{ m}^3/\text{min}$$

Que equivale a 1400 cfm.

2.5.3 Dimensionamiento y selección de los elementos del sistema

Para la red de ductos del área a acondicionar se utiliza una ampliación del sistema de aire acondicionado (UTA) de la empresa. El mismo que con una correcta distribución asegure la difusión del aire caliente en toda la sala por igual.

Realizando las mediciones en los ductos ya existentes se comprueba que la temperatura en el punto más extremo oscila entre 35 y 45 grados, aunque por el funcionamiento de la misma hay instantes en los cuales se inyecta aire del ambiente que llega a enfriar la sala. Por lo tanto para calentar el aire

inyectado en la sala se decide instalar un radiador como intercambiador de calor, el cual mantenga la temperatura en el ducto en 60°C como valor mínimo. El fluido utilizado en este radiador será el agua de la caldera que circula en la planta, la misma que se encuentra a 90°C.

Con estos datos el proveedor recomienda un radiador que se acople a las necesidades dimensionales de los ductos existentes, al mismo que se realizan las adecuaciones necesarias para poder hacer un rápido montaje y mantenimiento en el ducto.

Para la derivación de la tubería principal se utilizan collarines de 3" a ½" para agua caliente, tanto en el envío como en el retorno, además de una válvula de tres vías, la misma que controla el flujo en el radiador y de esa manera el calor generado por el mismo en el ducto. Cabe recalcar que los ductos están aislados con manta de fibra de vidrio.

Toda la sala se encuentra aislada para evitar cualquier fuga del calor generado.

Para poder complementar la velocidad faltante en los ductos se utilizan extractores industriales Siemens de tipo axial mostrados en la figura 41 El mismo que en condiciones normales genera 1400 cfm de velocidad, se seleccionan los mismos porque cumplen las condiciones dimensionales y son de bajo ruido.



Ventilador axial con motor monofásico Ventilador axial con motor trifásico Aspas plásticas

Tipo	Diametro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Potencia (kW)	Nivel de Ruido (dB)	Corriente (A)
Con motores monofásicos 1.800 rpm, IP44					110 VAC
2CC2254 - 5YC3	250	0.38	0.05	62	0.8
2CC2314 - 5YC3	310	0.70	0.08	65	1.5
2CC2354 - 5YC3	350	1.01	0.11	68	1.9
2CC2404 - 5YC3	400	1.45	0.22	74	3.2
2CC2504 - 5YA3	500	2.93	0.80	78	9.0

Figura 40. Ventiladores Monofásicos axiales.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Capítulo III

3. Diseño electrónico, automatización y control

En este capítulo se analiza el proceso de control y automatización aplicado en la línea manual, la misma que se enfoca en el llenado y colado de la línea. Y como principal proceso el prensado y levantamiento de las tapas. Para todos estos procesos se deben escoger los respectivos sensores que controlaran el proceso y los adecuados actuadores que permitan una instalación sencilla y un control preciso.

Una parte primordial en este capítulo es la adecuada programación del sistema y la selección apropiada de los equipos de control, cumpliendo con los requerimientos de un sencillo manejo para el operario y un control centralizado de la línea doble por una interfaz manipulable y modificable. Dando las garantías necesarias en la parte eléctrica en caso de falla.

Finalmente se plantea un proceso secuencial, el mismo que se lo puede arrancar en distintas fases de este. Teniendo un conjunto de lazos de control dependiendo de dónde arranque el proceso.

3.1 Análisis de los procesos a automatizar

3.1.1 Identificación de los lazos de control y los requerimientos a cumplir

El control se lo realiza en dos fases del proceso, las mismas que son el llenado conjuntamente con la conformación de la pieza, y el prensado y levantamiento de las tapas. Cada uno de ellos se cumple en tiempos exactos

programados manualmente por el operario dependiendo del tiempo que llevan trabajando los moldes. Cada uno de los procesos se describe a continuación.

Llenado y conformado de la pieza

El primer proceso que se controla es el cebado, que conlleva la limpieza de la línea por el trabajo del día anterior y para evitar suciedades o residuos en la misma, es un proceso corto y que no amerita más que un control en el tiempo que se ejecuta.

A continuación el llenado de los moldes, se lo realiza por medio de equilibrio hidroestático, logrado por el llenado de un embudo ubicado a una altura determinada y de uso general en la planta, que se va llenando de a poco y es controlado por un sensor de nivel alto que señala cuando se consiguió el equilibrio deseado y que los moldes están completamente llenos.

Sigue el proceso de toma de espesor de la pieza, en que el trabajo lo realizan los moldes con la pasta y en cual no influye ningún medio externo, se controla el tiempo en el cual se realiza el mismo.

Para el siguiente proceso que es el colado se inyecta aire a baja presión para terminar el conformado de la pieza, en el mismo se controla el tiempo en el cual se trabaja con el aire.

Prensado y levantamiento de las tapas

El prensado y levantamiento de las tapas se lo realiza al inicio y al final del proceso respectivamente. Cada uno de ellos es controlado por un sensor de fin de carrera superior e inferior de ser el caso. Y en el prensado se controla

la presión que se ejerce por parte de los cilindros, la misma se controla con un presóstato ubicado en la unidad hidráulica.

3.1.2 Análisis del control secuencial a implementar.

Como se ilustra en el capítulo anterior, el control debe ser ejecutado por los tiempos del proceso, configurados previamente por el operario, los mismos pueden ser variados, siempre y cuando no se desee variar un tiempo que este transcurriendo.

El control manual tiene preponderancia sobre el proceso automático. En cada uno de los actuadores. Además el proceso en caso de una emergencia se termina por un pulsador externo de seguridad.

Entonces el proceso de cebado activa el actuador para el cebado respectivo por el tiempo programado y el de llenado, para que la línea esté preparada para el llenado, en el mismo instante arranca el prensado de las tapas, cabe recordar que siempre el prensado arranca con las tapas en la posición superior, esto quiere decir el sensor de la parte superior activado, el prensado se controla con el presóstato. En el tiempo de llenado el actuador de vaciado se debe cerrar, para que el actuador de llenado gobernado por el sensor de nivel alto, cumpla con el llenado correcto de la línea sin cortes, que causarían problemas en el proceso y fallas en las piezas que se forman. El actuador de soplado se activa durante el tiempo programado de igual manera que el actuador de vaciado. Finalmente se da un reposo para evitar cualquier restante de aire en la línea y se elevan las tapas hasta la posición del sensor superior, todo este proceso inicia con un botón de conmutación automático y

cada uno de los tiempos se configura previamente por el operario de la línea que prepara la misma de manera manual, para tener un correcto desmolde.

3.2 Selección de elementos eléctricos

3.2.1 Definición de variables a controlar

De todos los procesos cada uno tiene variables que deben regir el proceso, las siguientes se detallan a continuación:

Prensado

Para el prensado se define como variable de control la presión, la misma que definirá con cuanta fuerza los pistones ejercerán presión sobre cada una de las tapas y sellaran completamente los moldes. Esta variable dependiendo del tipo de sensor puede ser análoga o digital. Como en este caso solo se necesita trabajar con valores límites la mejor opción es manejar una variable digital.

Además como medio de seguridad, se necesita controlar la posición inferior de las tapas, que la misma en caso de fallar el control de presión, detenga el prensado para evitar daños en los moldes, la estructura y el personal, esta es una variable digital.

Levantamiento

La posición hasta la cual se elevarán las tapas, debe ser controlada solo por la posición final a la que debe llegar, el sensor que detecte esta posición debe manejar una variable digital.

Llenado

En el llenado del embudo la variable a controlar es la posición superior de la pasta, que evitará en primer lugar un derrame de la pasta por desborde y mantener siempre el nivel de la pasta para tener un correcto llenado. Por ser un fluido muy abrasivo, el utilizado para llenar los moldes, solo se sensa la posición superior, por lo tanto la variable debe ser digital.

Temperatura y humedad

Una variable a mostrar siempre y además para ser utilizada en controles futuros es la humedad y temperatura de la sala, estas dos deben ser variables análogas.

3.2.2 Selección de sensores

Para cada uno de los procesos, y de acuerdo a las características definidas en el inciso anterior se escoge el sensor adecuado.

Prensado

Como ya se definió el tipo de variable que debe sensar, el sensor que se especifica para este es un presóstato, el mismo que viene montado en la unidad hidráulica. El proveedor especifica el sensor mostrado a continuación en la figura 41:



Figura 41. Presóstato Unidad Hidráulica.

Fuente: Rexroth. Rexroth Hydraulics. RE 50 060/02.99.

Para la detección de la posición inferior, el sensor utilizado es un sensor mecánico de la marca Siemens, el mismo es de tipo rodillo abatible para que al momento de bajar las tapas con el marco que soporta las mismas tenga un rango para ser accionado. El mismo se muestra en la figura 42.

Interruptor de posición

Tipo	Descripción
Abiertos sin protección contra líquidos	
3SE5 250-0KC05	Tipo pulsante sencillo 1NA + 1NC. Acción rápida, 30mm (ancho), terminales IP20
En caja de material aislante, ancho 31 mm., grado de protección IP65, 1NA + 1NC	
3SE5232-HC05	Tipo pulsante con vástago reforzado
3SE5232-H310	Tipo rodillo y pulsante sencillo (Ejecución especial para uso en ambientes polvorientos)
Serie SIRIUS de caja metálica de altísima robustez.	
En caja metálica, ancho 40 mm., grado de protección IP67, 1NA + 1NC	
3SE5112-0CC02	Tipo pulsante con vástago reforzado
3SE5112-0CD02	Tipo rodillo y pulsante sencillo (Ejecución especial para uso en ambientes polvorientos)
3SE5112-0CE01	Tipo rodillo y palanca sencilla
3SE5112-0CF01	Tipo rodillo angular y pulsante (palanca acodada)
3SE5112-0CH01	Tipo palanca de rodillo de ajuste fino de 10° en 10°
3SE5112-0CH50	Tipo palanca de rodillo de longitud regulable y de ajuste fino de 10° en 10°
3SE5112-0CR01	Tipo varilla flexible con resorte

Figura 42. Interruptor de posición.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Se escoge el de tipo rodillo de ajuste fino de 10° en 10° , por la precisión que se debe mantener tanto en la subida o bajada, además por el ambiente en el que se trabaja debe ser da caja metálica de altísima robustez como lo indica el manual. Cabe recordar que el mismo se utilizará para el levantamiento.

Llenado

En el caso del llenado, no se utiliza un sensor invasivo, es decir, ninguno que se introduzca en el fluido para llenar los moldes. La manera más sencilla y ya usada en su mayoría en la misma empresa, es emplear sensores de tipo boya, con lo que se asegura una alta confiabilidad y un manejo sencillo de las señales y el filtraje de las mismas debe ser casi nulo. Únicamente se debe asegurar la posición en la cual se calibrará el mismo. El tipo de sensor utilizado es de plástico.

Temperatura y humedad

El sensor utilizado para la detección de la temperatura y humedad ambientales en la sala es un termohidrómetro, de la casa comercial Omega, del tipo HX15, que es un transmisor, lo que facilita el filtraje de forma sustancial. Las señales emitidas por el sensor son de corriente de 4 a 20 mA, como se indica en la figura 43.

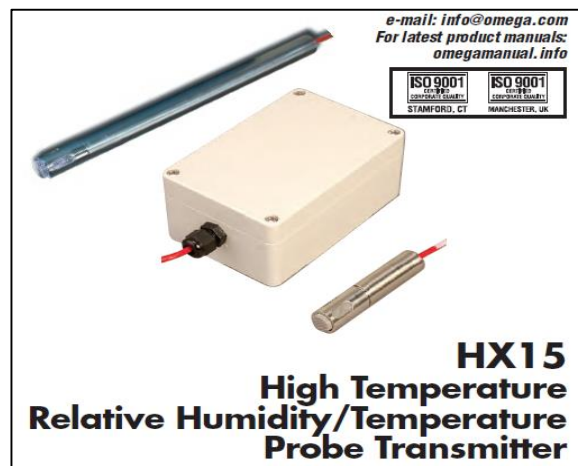


Figura 43. Termohidrómetro.

Fuente: Omega Engineering.2013.

3.2.3 Selección de los actuadores

Todos los actuadores implementados, son electroneumáticos, cada uno de ellos son implementados para el control del llenado y colado de la pieza.

Para el cebado, llenado y colado se utilizan en distintas fases del proceso válvulas de 2 pulgadas, de la marca Valbia con mando neumático del tipo Namur. La primera válvula se emplea para el llenado del embudo, la misma es normalmente cerrada, con lo que se asegura que no existan derrames o filtraciones de barbotina en el embudo. La segunda válvula se emplea para controlar el vaciado de la línea. Las especificaciones del tipo de actuador utilizado, se muestran en la figura 44:



Figura 44. Válvulas Valbia.

Fuente: Valbia. 2013.

El funcionamiento del mismo se describe en la figura 45, donde se aprecia que el mismo es de doble efecto y dentro cuenta con un mecanismo de piñón cremallera accionado por aire en las cámaras, el mismo que mantiene el torque constante para la apertura o el cierre de la válvula, la misma que es de acero inoxidable por lo abrasivo de la barbotina.

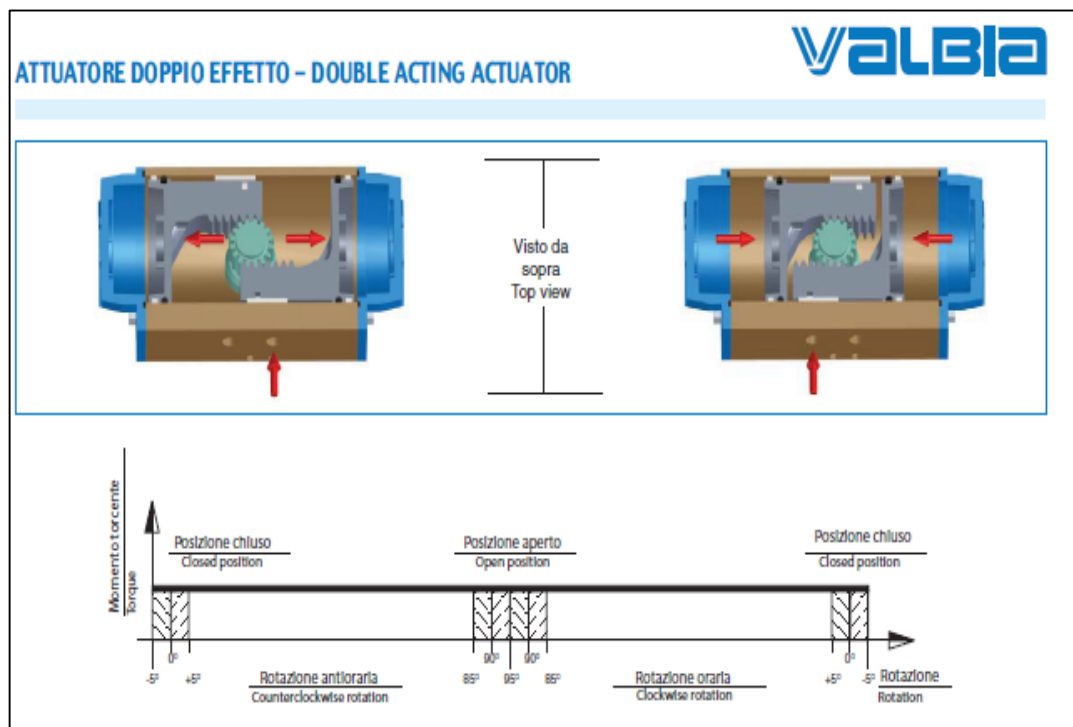


Figura 45. Funcionamiento Válvula Valbia.

Fuente: Valbia. 2013

Estos actuadores son controlados por válvulas Namur, que son del tipo mostrado en la figura 46, el mismo que se aprecia es una válvula 4/2 que asegura que no exista entrada de aire no filtrado a las cámaras.

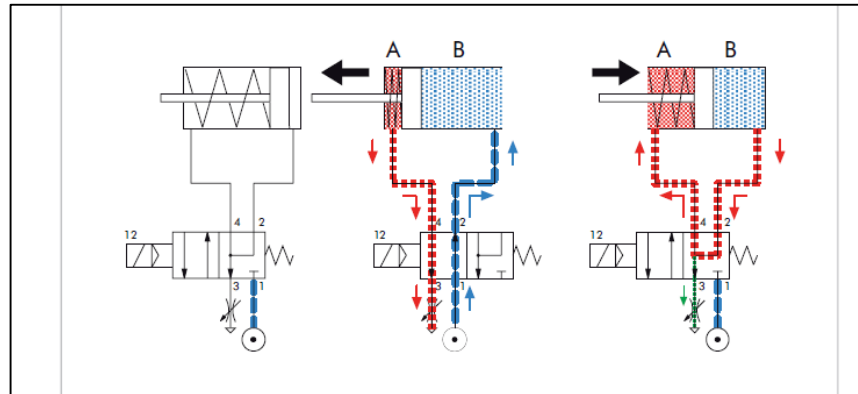



Figura 46. Funcionamiento Válvula Valbia.

Fuente: Valbia. 2013.

Para el control del soplado en el momento de colar, se emplea válvulas de proceso de 1 pulgada de centro cerrado (NC), el tipo utilizado se muestra en la figura 47, de la marca M&M International:

m&m International

2/2 WAY PILOT OPERATED VALVE WITH ASSISTED LIFT, G 1/4" + G 1"


 normally closed TYPE: D187/188/189/190/192/293

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Media: water, oil, air
 Media temperature: -10°C + +90°C
 Ambient temperature: -10°C + +50°C
 Body material: brass (CW617N EN 12165)
 Operator material: stainless steel
 Operator seal material: FKM
 Seal and diaphragm material: NBR
 Coil power: AC 18VA (holding)
 AC 36VA (rush)
 DC 14W
 Protection class: IP 65 (with connector)

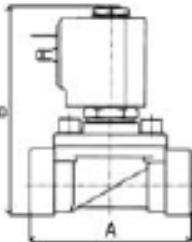
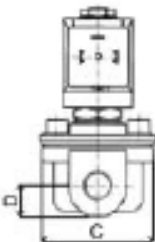
OPTIONS

EPDM seal for air and hot water MAX 120°C (Ex. code D188DEW)
 FKM seal for air, water, oil MAX 130°C (Ex. code D187DW)
 • DC MAX 6 bar x D187-192 (Ex. code \square D187DBW)
 • DC MAX 5 bar x D293 (Ex. code \square D293DBY)
 \square Speed control screw as standard for type "D293"



SELECTION TABLE

VALVE	G connection [ISO 228]	Nominal Diameter [mm]	Flow rate levs [l/min]	OPD		COILS		
				min [bar]	max [bar]	Code	[Volts/Hz]	
D187DBW	1/4"	15	50	0	16	*	7250	24V DC
D188DBW	3/8"	15	60	0	16	*	7200	24V 50/60Hz
D189DBW	1/2"	15	65	0	16	*	7400	110V 50Hz - 120V 60Hz
D190DBW	3/4"	15	80	0	16	*	7600	200V 50Hz - 220V 60Hz
D192DBW compact	1"	15	85	0	16	*	7700	230V 50Hz - 240V 60Hz
D293DBY \square	1"	25	140	0	16	*		

DIMENSIONS & WEIGHTS


G connection [ISO 228]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	weight [Kg]
1/4"	75	108	53	14	0.5
3/8"	75	108	53	14	0.5
1/2"	75	108	53	14	0.5
3/4"	85	108	52	21.5	0.8
1" compact	85	108	52	21.5	0.7
1"	100	113	68	21.5	1.2

Figura 47. Electroválvula de proceso.

Fuente: M&M International. Solenoid Valves Catalogue.

Finalmente el accionamiento de los pistones de giro de los ventiladores se lo realiza de igual manera con válvulas electroneumáticas, del tipo mostrado a continuación de la marca Metalwork:

PNEUMATIC		VALVULAS SERIE 70 ELECTRONEUMATICAS		
DATOS TÉCNICOS	1/8"	1/4"	1/2"	
Presión de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Monoestable 2.5 bar + 10 bar • Biestable 1 = 10 bar • Asistida Vacío + 10 bar 			
Presión mínima asistida	2.5 bar			
Temperatura de trabajo	-10° + +60°C			
Diámetro nominal	5 mm	7.5 mm	15 mm	
Conductancia C	121.43 NI/min	264.26 NI/min	971.43 NI/min	
Relación crítica b	0.32 bar/bar	0.27 bar/bar	0.43 bar/bar	
Capacidad a 6 bar ΔP 0.5 bar	400 NI/min	750 NI/min	3200 NI/min	
Capacidad a 6 bar ΔP 1 bar	550 NI/min	1100 NI/min	4600 NI/min	
TRA/TRR monoestable a 6 bar	15 ms / 35 ms	19 ms / 45 ms	36 ms / 60 ms	
TRA/TRR biestable a 6 bar	20 ms / 20 ms	21 ms / 21 ms	30 ms / 30 ms	
Tipo de accionamiento manual	Biestable			
Tensión bobinas	24VDC = 24VAC = 110VAC = 220VAC 50/60Hz			
Potencia	2 W (DC) 3VA (AC) 5W (DC) 5VA (AC)			
Tolerancia de tensiones	-10% + +15%			
Clase de aislamiento	F155			
Fuerza max. fuerza bobina	1 Nm			



CLAVES DE CODIFICACIÓN											
S	O	V	2	3	S	O	S	N	C		
FAMILIA		DIMENSIÓN		FUNCIÓN		ACCION. 14		ACCION. 12		OTRAS DESCRIPCIONES	
SOV	Electroneumáticas	2	1/8"	3	3/2	SO	Solenoido	S	Resorte mecánico	NC	Norm. cerrado
		3	1/4"	5	5/2			B	Biestable	NO	Norm. abierto
		4	1/2"	6	5/3			D	Diferencial	CC	Centros cerrados
								P	Neumático	OC	Centros abiertos
								A	Resorte neumomecánico*	PC	Centros pres.
									*a petición	OO	5/2

Figura 48. Válvulas electroneumáticas.

Fuente: Metalwork. Catálogo de válvulas. Edición 2013.

3.3 Sistema de control

3.3.1 Definición de la secuencia a cumplir de acuerdo a parámetros

Con los actuadores y sensores completamente definidos, el proceso íntegro se lo define de la siguiente manera:

El primer paso es configurar los tiempos de cada uno de los procesos, los mismos se definen en minutos. A continuación de la configuración se arranca el proceso de manera automática.

Prensado

El primero proceso en arrancar es el prensado de todas las tapas, el mismo inicia únicamente cuando se está accionando el sensor de fin de carrera superior, caso contrario no arranca el prensado. El mismo se ejecuta hasta el punto en el cual esta calibrado el presóstato. El momento de prensarse y durante todo el proceso entero se activa una alarma visual.

Cebado

Al mismo tiempo que se prensa la línea, se empieza el cebado de la misma, en el cual la válvula de llenado del embudo se abre, de la misma manera que la válvula de vaciado, este es un de tiempo corto del proceso.

Llenado

Como se trata de un proceso secuencial, luego de la culminación del tiempo de cebado, en el llenado se mantiene abierta la válvula de llenado del embudo y se cierra la válvula de vaciado, por lo que el embudo se empieza a llenar comandado por el sensor de nivel alto, la válvula de llenado por lo tanto se encuentra en conmutación de apertura y cierre mientras se encuentre el equilibrio hidrostático y los moldes se encuentren llenos. Este tiempo se estima ser el mismo durante todo el tiempo por lo que se lo fija en un valor estándar, previo a las pruebas de llenado. Además cuenta con una alarma visual que indica que el embudo llevo al nivel alto.

Tiempo de toma de espesor

Continuando con la secuencia, al culminar el proceso anterior empieza el de toma de espesor, en el mismo por razones de seguridad la válvula de llenado se cierra, y se mantiene así durante el resto del proceso. En esta fase el trabajo lo hacen los moldes, donde el tiempo que se programe da las características a la pieza. Cuenta con una alarma sonora que se activa por un tiempo corto para prevenir al operario de que va a culminar el tiempo de toma de espesor.

Tiempo de soplado

Continuando con la secuencia del proceso en el soplado, se activa la electroválvula de proceso, que permite la entrada del aire a baja presión, regulado manualmente con una unidad de mantenimiento, al mismo tiempo se abre la válvula de vaciado con un retraso programado para comprobar el flujo del aire a los moldes, la válvula de vaciado permanece abierta durante todo el tiempo, de la misma forma cuenta con una alarma para prevenir al operario de que va a culminar el tiempo de soplado.

Tiempo de reposo

Finalmente al terminar el proceso de soplado, en el tiempo de reposo se cierran todas las válvulas, este es un tiempo corto que al finalizar el mismo empieza el levantamiento de las tapas hasta llegar a la posición del fin de carrera superior, donde termina el proceso y empieza el desmolde conjuntamente con los trabajos manuales en la pieza.

En todo instante se puede ejecutar la ventilación dirigida, que se activa por medio de las electroválvulas desde un mando centralizado. Y las mismas se pueden activar por bloques o todas a la vez.

3.4 Control por PLC

3.4.1 Selección del PLC

En primer lugar para la selección del PLC se deben responder a los pedidos de la empresa en el que se pide además del controlador una interfaz de manejo con pantalla HMI.


Teniendo ese precedente el tipo de PLC que actualmente el mercado presta facilidades tanto para la interfaz como para la programación es de la marca SIEMENS, del modelo de PLC 1200.

Para seleccionar el tipo de CPU y los módulos externos necesarios, se lo realiza de acuerdo al número de entradas y salidas que tendrá todo el sistema, los mismos que se muestran a en la tabla 12, la misma que abarca los elementos de los lados de la línea que se las designan como A y B.

Tabla 12. Entradas y salidas.

Item	Entradas	Salidas
1	Fin de carrera superior A	Electroválvula llenado A
2	Fin de carrera inferior A	Electroválvula vaciado A
3	Presóstato A	Válvula de proceso soplado A
4	Paro de emergencia A	Electroválvula giro ventiladores A
5	Sensor de nivel Alto A	Electroválvula subida A
6	Fin de carrera superior B	Electroválvula bajada A
7	Fin de carrera inferior B	Ventilador 1 A
8	Presóstato B	Ventilador 2 A
9	Paro de emergencia B	Ventilador 3 A
10	Sensor de nivel Alto B	Luz Verde A
11		Luz Roja A
12		Luz Amarilla A
13		Electroválvula llenado B
14		Electroválvula vaciado B
15		Válvula de proceso soplado B
16		Electroválvula giro ventiladores B
17		Electroválvula subida B
18		Electroválvula bajada B
19		Ventilador 1 B
20		Ventilador 2 B
21		Ventilador 3 B
22		Luz Verde B
23		Luz Roja B
24		Luz Amarilla B
25		Alarma sonora
26		Motor Hidráulico

En total se tiene 10 entradas digitales, las cuales son a 24 V y se tiene 26 salidas digitales. A partir de este dato se ve la necesidad de emplear un módulo de expansión. De acuerdo al catálogo mostrado en la figura 49, la mejor opción para el CPU es el modelo 1214 DC/DC/DC, que tiene 14 entradas digitales y 10 salidas digitales, por lo tanto se necesita completar 16 salidas digitales, por lo que se necesita un módulo 16DI/DO, que por costo y en caso de querer hacer modificaciones o mejoras en el programa nos asegura un extra en el número de entradas a manejar.



CPU	1212C	1214C	1214C	1215C	1215C
Versión	AC/DC/Relé	DC/DC/DC	AC/DC/Relé	DC/DC/DC	AC/DC/Relé
Alimentación	110/220 VAC	24 VDC	110/220 VAC	24 VDC	110/220 VAC
Memoria de trabajo	50 KB	75 KB	75 KB	100 KB	100 KB
Memoria de carga	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB	4 MB
Memoria remanente	10 KB	10 KB	10 KB	10 KB	10 KB
ENTRADAS / SALIDAS INTEGRADAS					
Entradas digitales (DI)	8DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC
Salidas digitales (DO)	6DO tipo relé	10DO tipo transistor 24 VDC	10DO tipo relé	10DO tipo transistor 24 VDC	10DO tipo relé
Entradas analógicas (AI)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)
Salidas analógicas (AO)	No	No	No	2AO(mA)	2AO(mA)
CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN (MÁX.)					
Signal Board	1	1	1	1	1
Módulos de señal	2	8	8	8	8
Módulos de comunicación	3	3	3	3	3
CONTADORES RÁPIDOS INTEGRADOS					
Fase simple	3@100KHz y 1@30KHz	3@100KHz y 3@30KHz	3@100KHz y 3@30KHz	3@100KHz y 3@30KHz	3@100KHz y 3@30KHz
Fase doble	3@80KHz y 1@30KHz	3@80KHz y 1@30KHz	3@80KHz y 1@30KHz	3@80KHz y 3@30KHz	3@80KHz y 3@30KHz
Salida de pulsos	N/A	4@100KHz	N/A	4@100KHz	N/A
FUNCIONALIDAD					
Lazos PID	16	16	16	16	16
Datalogging	Si ¹⁾	Si ¹⁾	Si ¹⁾	Si ¹⁾	Si ¹⁾
COMUNICACIÓN					
Comunicación	16 conexiones en total				
Profinet / Industrial Ethernet	Puertos Integrados:1		Puertos Integrados:2		
Profibus DP	Profinet Controller: Hasta 8 dispositivos Profinet ¹⁾				
	Maestro mediante CM 1243-5: Hasta 16 esclavo Profibus DP ¹⁾				
	Esclavo mediante CM 1242-5 ¹⁾				
RS485	Mediante CM 1241 (RS485): Soporta protocolos USS, Modbus RTU Maestro/Esclavo				
RS232	Mediante CM 1241 (RS232): Soporta Modbus RTU Maestro/Esclavo, ASCII, Freeport				
AS-interface (AS-i)	Maestro mediante CM 1243-2: Soporta hasta 62 esclavos AS-i				
Modbus TCP	Hasta 8 equipos en red, mediante puerto Ethernet integrado				
Condiciones de Instalación	- 20°C a + 60°C				
Temperatura ambiente					
WebSever	Si	Si	Si	Si	Si

Figura 49. Catálogo de selección PLC.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

También es necesario para el transmisor de temperatura un módulo de entradas analógicas, por lo que se selecciona uno que tiene 4 entradas analógicas configurables a corriente o tensión.

Finalmente para la comunicación entre el módulo y la pantalla, se necesita un switch industrial que permita mantener la comunicación y además poder configurar el PLC y la pantalla al mismo tiempo.

La pantalla para poder tener una mejor visualización y una diferenciación entre cada línea que será manejada, se necesita que sea a color, por lo que la mejor opción que va con el PLC seleccionado es la pantalla KTP600 a color, mostrado en la figura 50.








							
	KP300 Basic PN	KTP400 Basic mono PN	KTP600 Basic mono PN	KTP600 Basic color PN	KTP600 Basic color DP	KTP1000 Basic color PN	KTP1500 Basic color PN
MLFB	6AV6647- 0AH11- 3AX0	6AV6647- 0AA11- 3AX0	6AV6647- 0AB11- 3AX0	6AV6647- 0AD11- 3AX0	6AV6647- 0AC11- 3AX0	6AV6647- 0AF11- 3AX0	6AV6647- 0AG11- 3AX0
Pantalla	Display LED retroiluminado	STN, escala de grises	STN, escala de grises	TFT,256 colores	TFT,256 colores	TFT,256 colores	TFT,256 colores
Tamaño (pulgadas)	3.6"	3.8"	5.7"	5.7"	5.7"	10.4"	15.1"
Resolución	240 x 80	320 x 240	320 x 240	320 x 240	320 x 240	640 x 480	1024 x 768
Elementos de mando	10 teclas de función	Pantalla táctil y 4 teclas de función	Pantalla táctil y 6 teclas de función	Pantalla táctil y 6 teclas de función	Pantalla táctil y 6 teclas de función	Pantalla táctil y 8 teclas de función	Pantalla táctil
Interfaz de comunicación							
Profinet/ Industrial Ethernet (RJ45)	●	●	●	●	-	●	●
Profibus DP/ MPI (RS485/RS422)	-	-	-	-	●	-	-
Software de Programación	TIA PORTAL WinCC Basic V11 (ó superior) / WinCC Flexible 2008 Compact SP2 (ó superior).						

Figura 50. Pantalla KTP.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

3.4.2 Programación de PLC

Como se trata de un PLC 1200, el software de programación cuenta con programación estructurada, lo que quiere decir que se estructuran bloques de programa por el usuario, que pueden ser reutilizados en cualquier parte del programa.

De manera general se cuenta con dos procesos, uno automático y otro manual, los siguientes se los define a continuación:

Proceso Automático

La funcionalidad automática se ejecuta individualmente para cada línea que se desee controlar, cada una en pantallas distintas e inicia al presionar un botón en la pantalla táctil.

En este proceso la máquina ejecuta cada uno de los pasos mostrados en la figura 51 siguiendo siempre la secuencia. La misma que solo puede ser interrumpida por el operario a cargo.

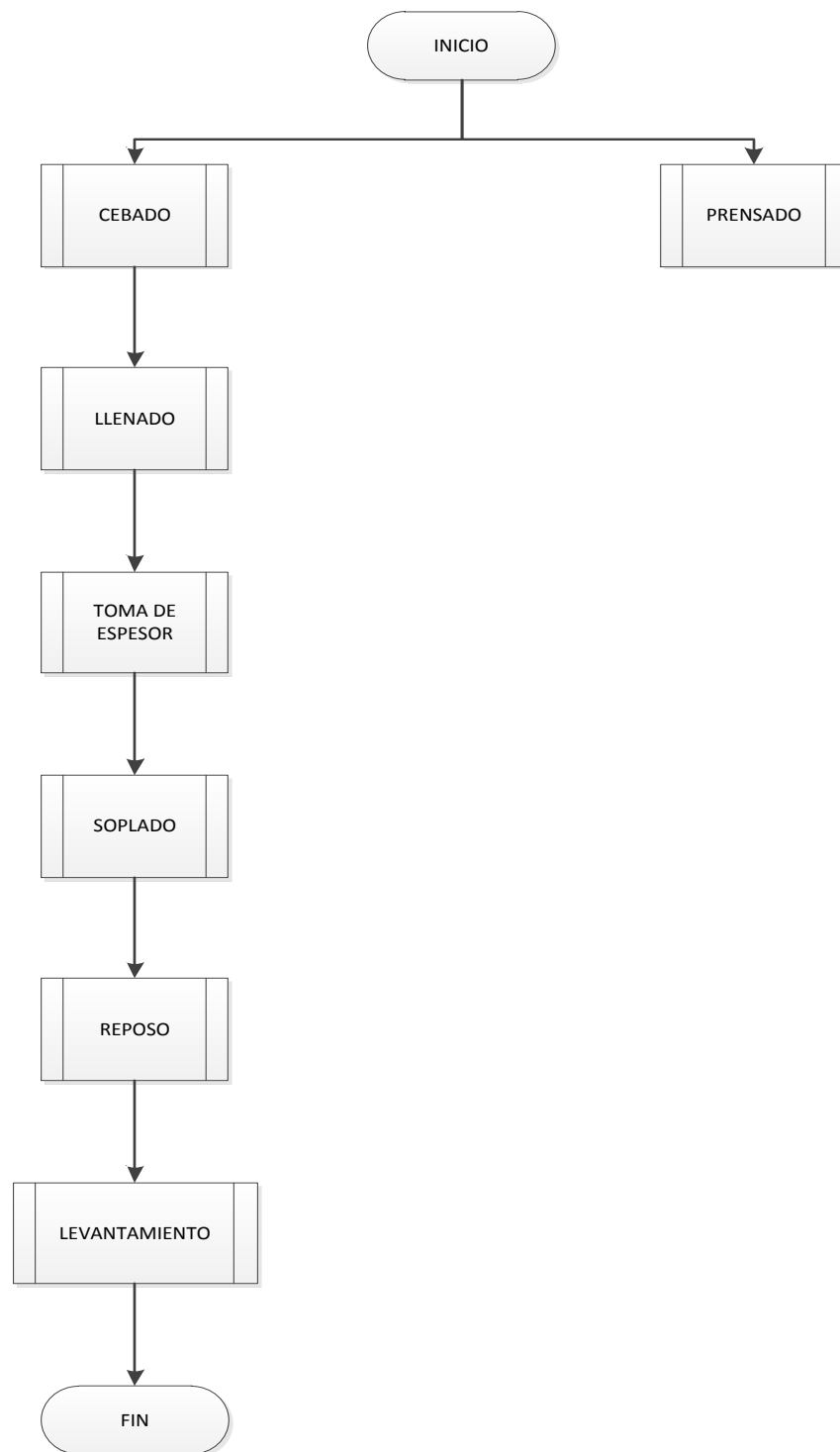


Figura 51. Diagrama de flujo – proceso automático.

Proceso Manual

En el caso del proceso manual este se controla ingresando en la pantalla de manejo manual de cada línea y en la misma se cuenta con un botón para activar el control manual, en el mismo que se podrán manejar tanto el prensado y levantamiento, como cada una de las válvulas para el llenado.

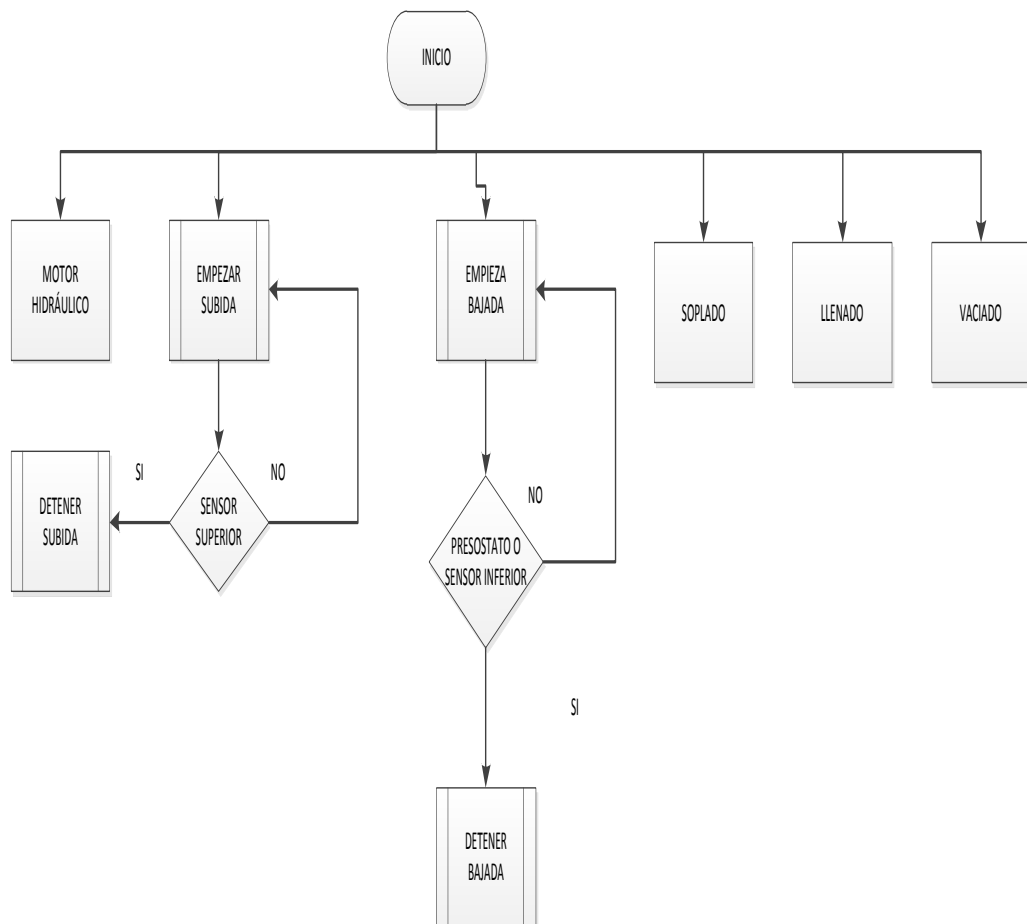


Figura 52. Diagrama de flujo – proceso manual.

Cada uno de los procesos se describe a continuación:

Cebado

Arranca con el pulso del botón de inicio, en la pantalla de control de cada una de las líneas. El proceso controla las válvulas de llenado y vaciado por el tiempo programado.

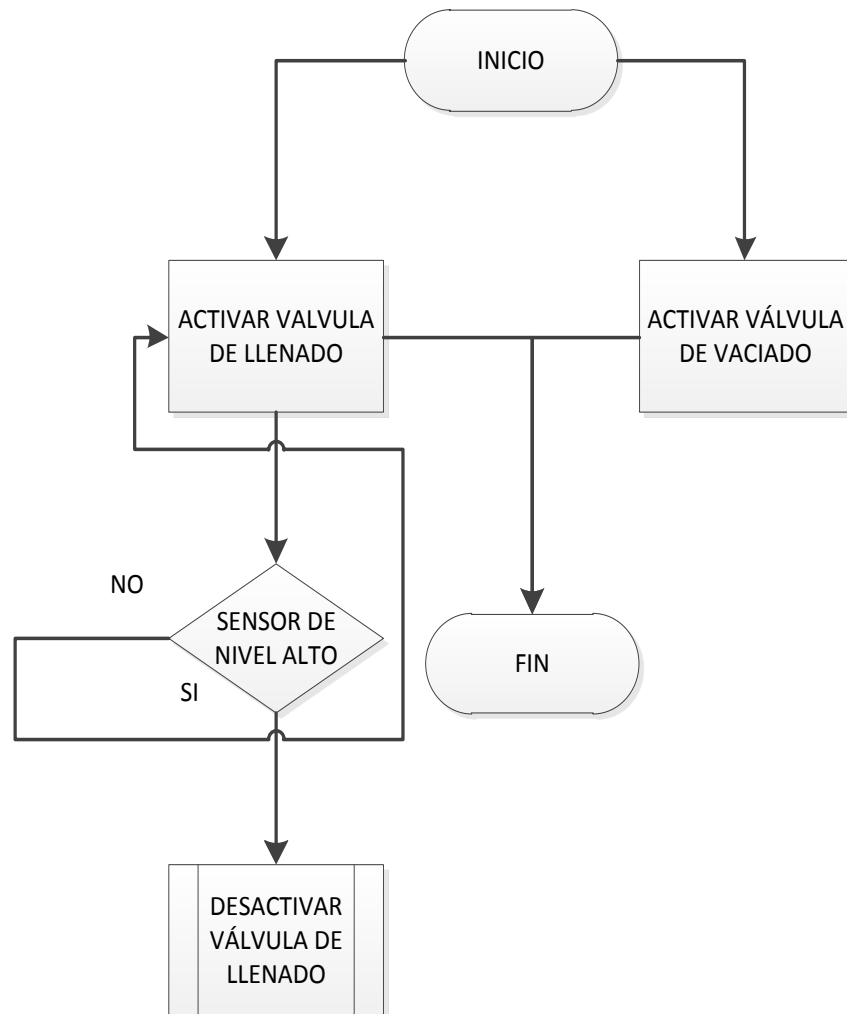


Figura 53. Diagrama de flujo – cebado.

Prensado

Arranca simultáneamente con el cebado, pero únicamente si se encuentra en la posición superior, esto quiere decir que este accionado el fin de carrera

superior. Aquí se comanda el motor de la unidad hidráulica y las electroválvulas.

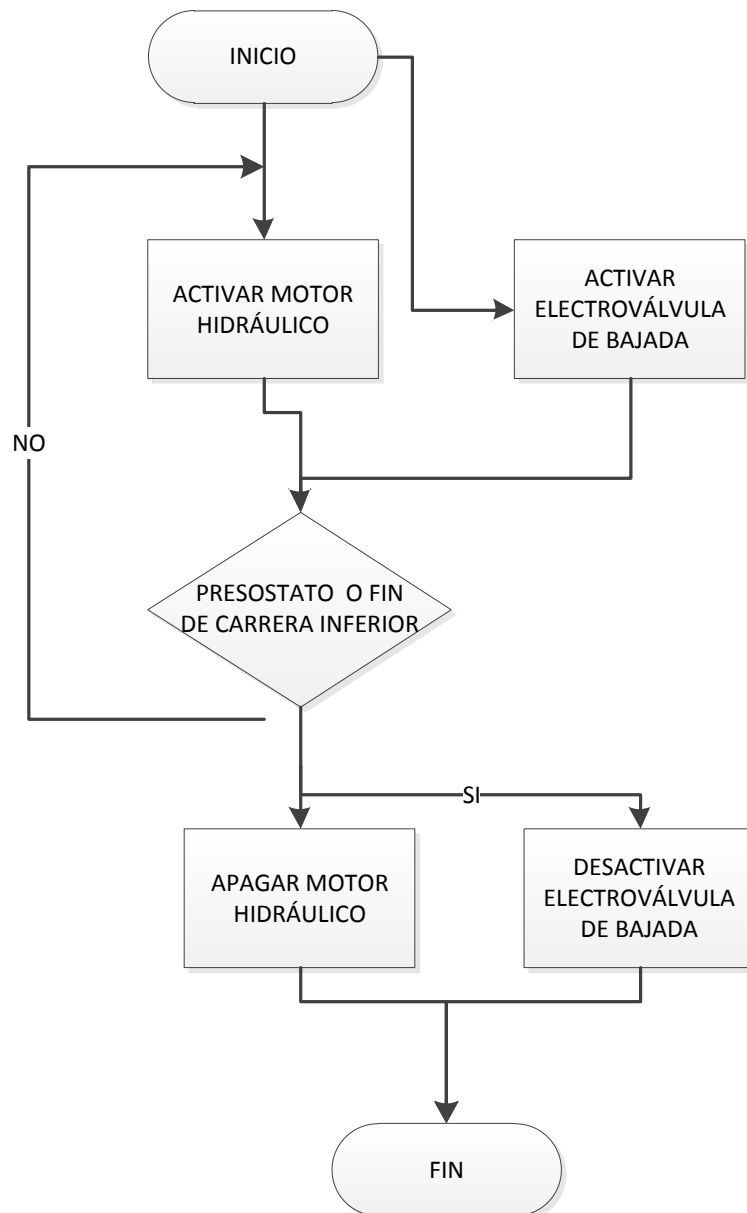


Figura 54. Diagrama de flujo – prensado.

Llenado

De la misma forma este proceso se ejecuta el culminar el cebado, y por el tiempo programado comanda las válvulas para el llenado. Siempre regido por

el sensor de nivel alto. Cuenta con una señal visual para comprobar el nivel en que se encuentra la pasta.

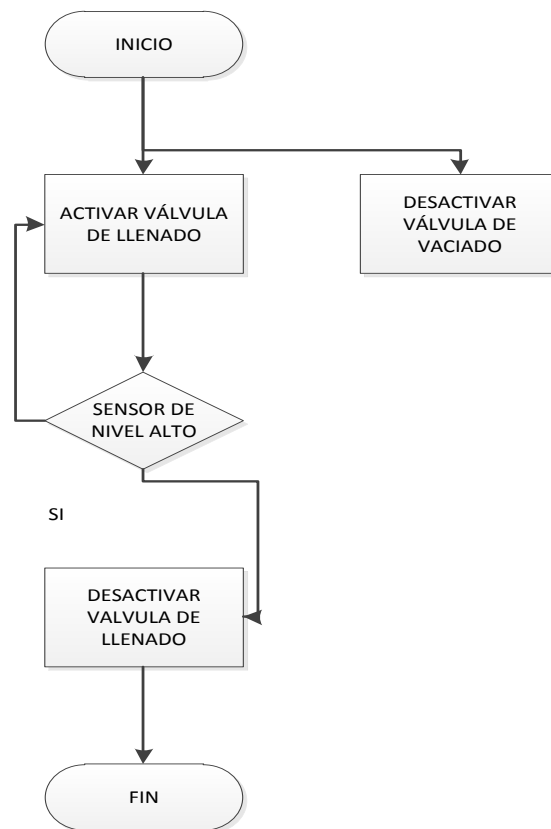


Figura 55. Diagrama de flujo – llenado.

Toma de espesor

Al culminar el proceso anterior, se ejecuta el de toma de espesor. Cuenta con una señal visual para indicar el prensado y un señal sonora para avisar de la culminación del tiempo.

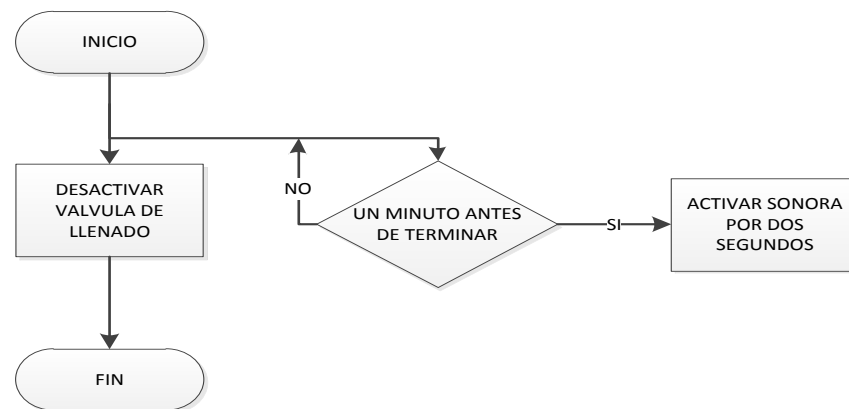


Figura 56. Diagrama de flujo – Tiempo de toma de espesor.

Soplado

Al culminar el proceso anterior, se ejecuta el soplado, con un retardo programado para accionar la válvula de proceso y la de vaciado. Con una alarma sonora avisa de la culminación del tiempo.

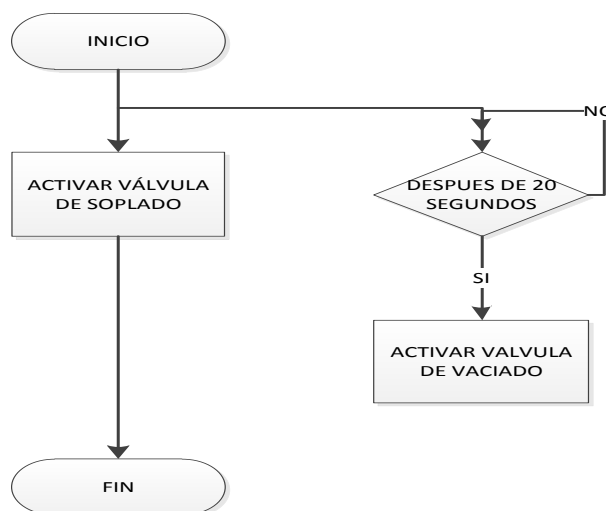


Figura 57. Diagrama de flujo – Tiempo de soplado.

Reposo

Al culminar el soplado, se ejecuta el reposo, que dará paso al levantamiento.

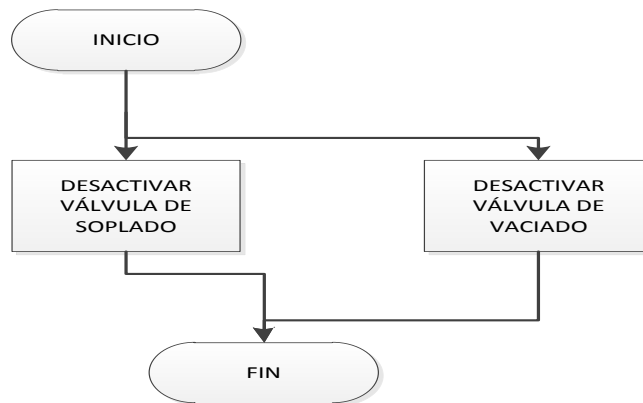


Figura 58. Diagrama de flujo – reposo.

Finalmente con el levantamiento, culmina el proceso, en este se comanda el motor de la unidad hidráulica y las electroválvulas de accionamiento.

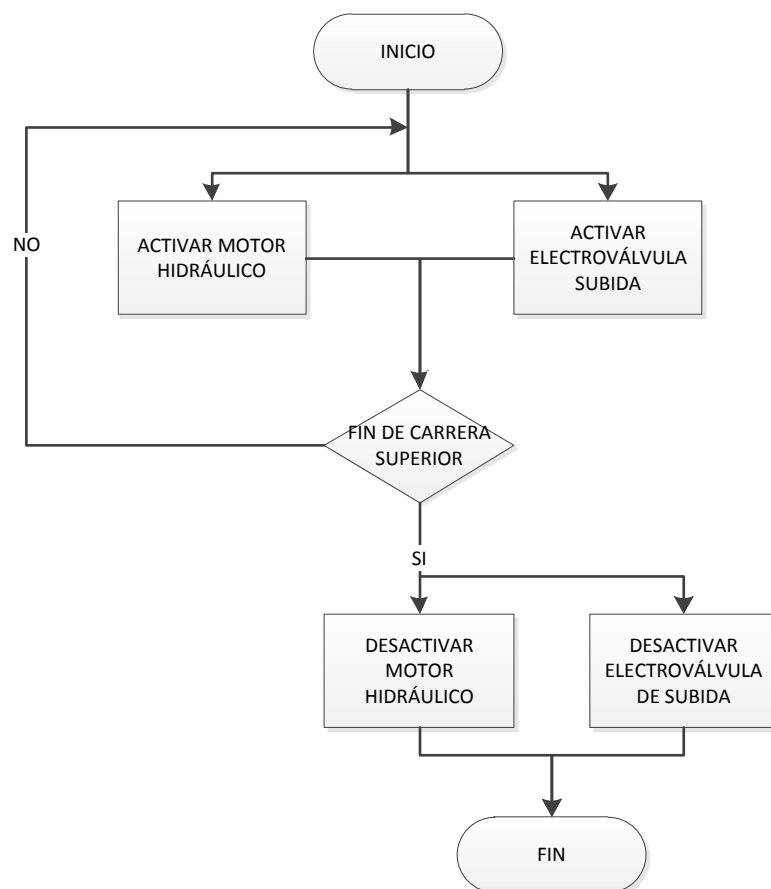


Figura 59. Diagrama de flujo – levantamiento.

Por seguridad se emplea un botón para detener todos los procesos.

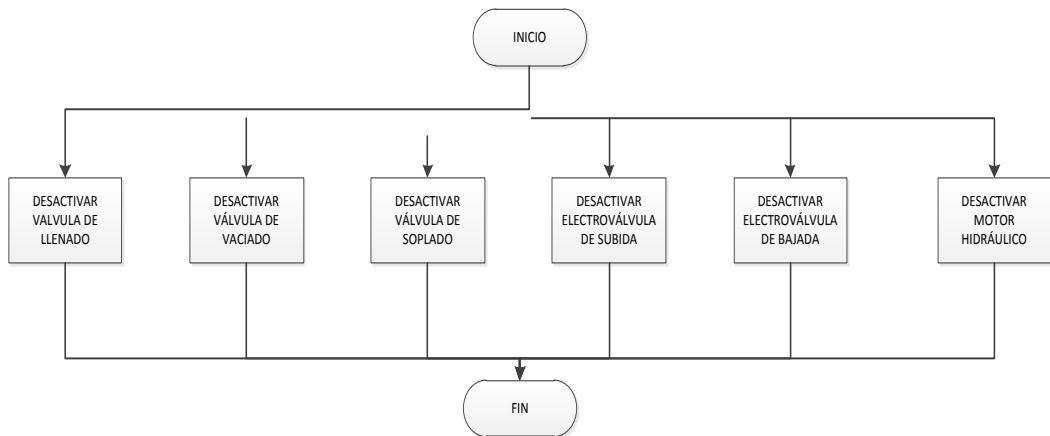


Figura 60. Diagrama de flujo – paro de emergencia.

Además en la pantalla se debe mostrar los valores de temperatura y humedad en que se encuentra la sala, como se indicó el transmisor empleado envía dos señales cada una como corriente de 4 a 20 mA. La misma debe ser tratada para tener la visualización de las unidades reales, más no las de ingeniería.

Para este procedimiento se hace uso de dos bloques ya definidos en el TIA V11, que son los mostrados en la figura 61:

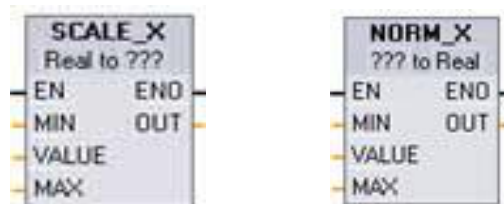


Figura 61. Bloques SCALE_X y NORM_X.

Fuente: TIA PORTAL V11.

El procedimiento que realizan es el siguiente, descrito en la misma página de Siemens y en el manual de manejo del PLC 1200:

La instrucción SCALE_X (Escalar) escala el parámetro VALUE real normalizado (donde $0,0 \leq \text{VALUE} \leq 1,0$) al tipo de datos y rango de valores especificados por los parámetros MIN y MAX:

$$\text{OUT} = \text{VALUE} (\text{MAX} - \text{MIN}) + \text{MIN}$$

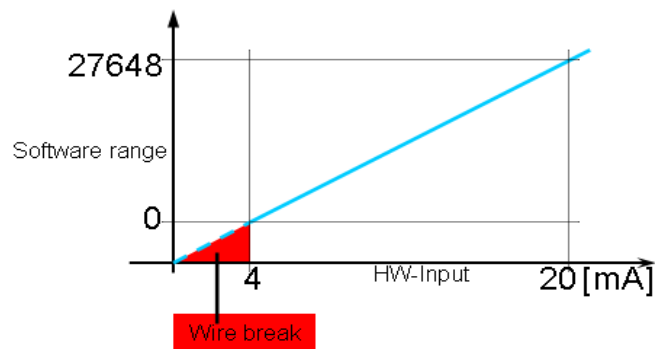


Figura 62. Diagrama de Escalamiento.

Fuente: support.automation.siemens.com.

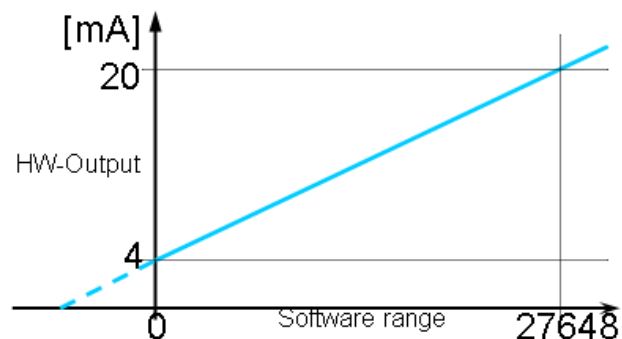


Figura 63. Diagrama de escalamiento a 4mA.

Fuente: support.automation.siemens.com.

Donde los valores se toman cada uno de la entrada especificada, ya sea para temperatura o humedad. La conexión en el módulo se lo hace como se muestra en la figura 64, ya que el transmisor es de tres hilos.

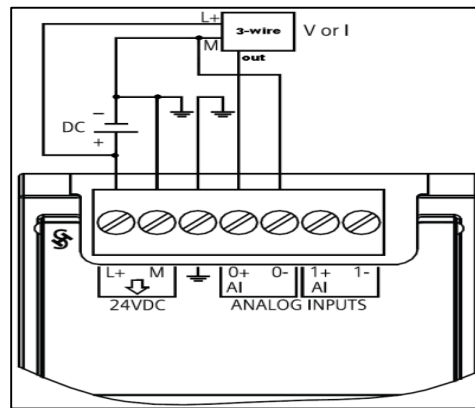


Figura 64. Conexión sensor de 3 hilos.

Fuente: support.automation.siemens.com.

La asignación de las direcciones de cada uno de lo realiza en el programa.

Para SCALE_X, los parámetros MIN, MAX y OUT deben tener un mismo tipo de datos. La instrucción NORM_X (Normalizar) normaliza el parámetro VALUE dentro del rango de valores especificado por los parámetros MIN y MAX:

$$\text{OUT} = (\text{VALUE} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN}), \text{ donde } (0,0 \leq \text{OUT} \leq 1,0)$$

Para NORM_X, los parámetros MIN, VALUE y MAX deben tener un mismo tipo de datos.

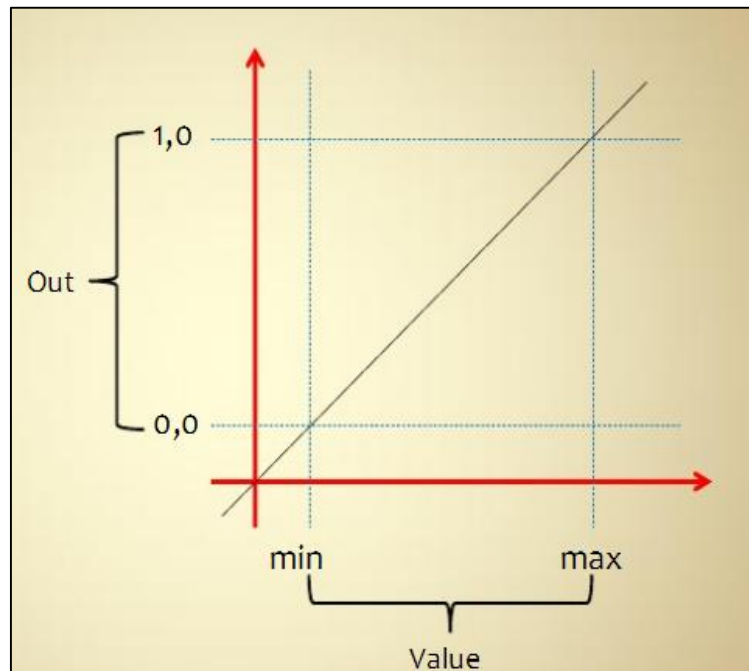


Figura 65. Diagrama de normalización.

Fuente: support.automation.siemens.com.

Los valores máximos para la normalización dependen del tipo de medida que se esté tomando, ya sea esta temperatura o humedad, estos valores se tienen en hoja técnica del transmisor. Los mismos que se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de escalamiento del termohidrómetro.

Unidad	Máximo	Mínimo
Temperatura	140 °C	-40 °C
Humedad	100%	0%

3.4.3 Diseño de la interfaz de manejo

La interfaz íntegramente se la realiza mediante la pantalla touch de Siemens, el tipo como ya se indicó es KTP 600 Basic Color PN, la misma que es de 5,7 “, desde la cual y de acuerdo a las diferentes pantallas que se programen se podrá manejar las dos líneas, de manera separada.

De acuerdo a los requerimientos especificados la primera pantalla programada o inicial, desde la cual se podrá escoger a que línea controlar y la configuración de la fecha y hora del sistema, como se muestra en la figura 66.



Figura 66. Pantalla inicial.

Todos los botones son programados para cambiar de pantalla, con un solo pulso para dirigirse a la pantalla deseada. De aquí en adelante las siguientes pantallas para la línea A y B son similares.

En la primera pantalla tanto para la línea A y B, se muestra el proceso de prensado en una simulación y el transcurso de cada uno de los procesos, en el mismo por medio de textbox se visualiza tanto el tiempo programado, como el tiempo faltante de cada uno de los procesos. Además de una señal luminosa que recalca la fase del proceso en la cual se encuentra.

Aquí también encuentran, botones con figura para el accionamiento de los ventiladores y el giro de cada de ellos. Y el más importante que es un botón que conmuta y cambia de color para el arranque del proceso automático. Finalmente otro botón que de igual manera cambia de color y sirve para pausar el prensado o el levantamiento en el proceso automático. Este botón se lo programa con manejo de usuarios, esto quiere decir que activa únicamente luego de ingresar una clave y un usuario predefinidos.

Aquí por otro lado se presentan botones para cambiar de pantallas entre las líneas A y B, y también para cambiar a las pantallas de configuración y de manejo manual de cada línea, como se muestra en la figura 67.

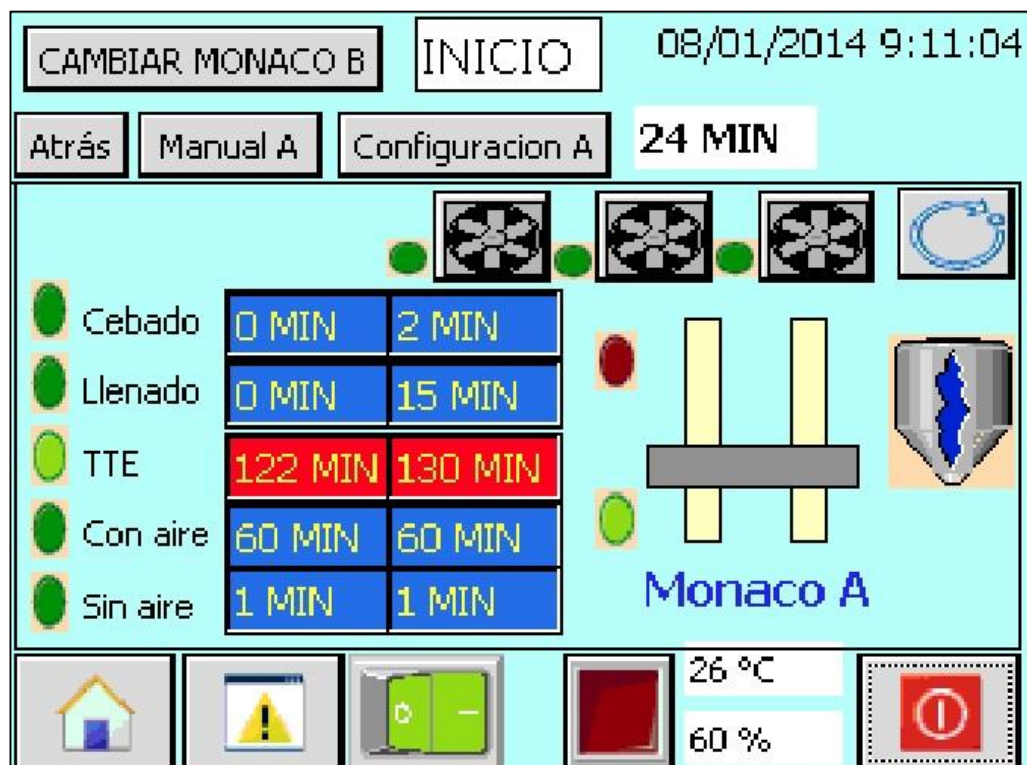


Figura 67. Pantalla de proceso.

Para la configuración se utiliza ingreso de los tiempos por textbox, cada uno se lo hace individualmente y se lo puede configurar en las distintas fases

del proceso. Estos tiempos solo son configurables en esta pantalla, mostrada en la figura 68. En las demás solo son para visualización. Estos tiempos son ingresados en minutos. Además se tiene un botón para regresar a la pantalla de proceso de cada línea.



Figura 68. Pantalla de configuración.

En la última pantalla, mostrada en la figura 69 se configura las opciones de manejo manual, para el mismo se tiene un botón con forma de selector, el mismo que habilita la funcionalidad de todos los botones mostrados, el control de cada uno de los actuadores sigue siendo comandado por el respectivo sensor.



Figura 69. Pantalla de manejo manual.

No se debe olvidar que el proceso manual, tiene privilegio sobre el automático. Y siempre al regresar a la pantalla de proceso se debe volver a apagar el botón de manejo manual.

Al emplear el software TIA PORTAL, el mismo se encarga de hacer el enlace entre cada uno de los botones y las variables, por lo que no es necesario crear nuevas variables para el HMI.

3.4.4 Diseño del tablero de control

Para la selección de cada uno de los elementos del tablero de control, se debe tener en cuenta que en el mismo se deben manejar dos fases, una control y otra de potencia. En la fase de control se tiene el PLC y la fuente de poder para alimentar los relés que activarán cada contactor y bobina de cada actuador de la parte de potencia.

De acuerdo a lo definido anteriormente los elementos para dimensionar en la parte de control son la fuente de poder y el cable a utilizar para lo mismo.

De acuerdo al número de salidas, la cantidad de relés a utilizar es de 26, los mismos por ahorra espacio, se emplean los relés de interfaz de marca Siemens, que son los mostrados en la figura 70 cuentan con bobina a 24 Vdc para encajar con las salidas del PLC y un contacto NC (Normalmente abierto) y otro NO (Normalmente cerrado).

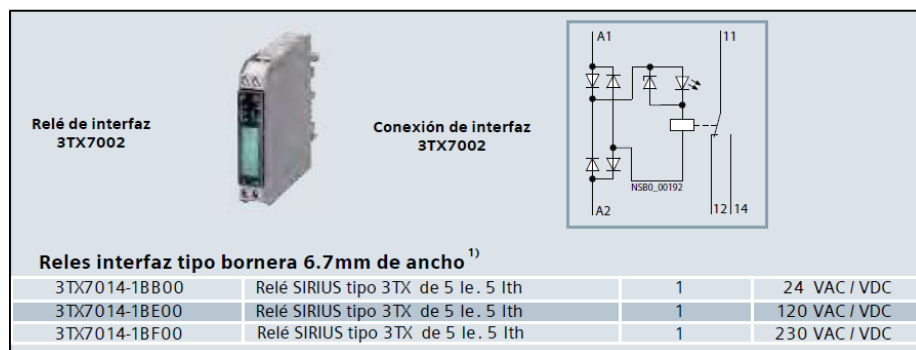


Figura 70. Relés de interfaz.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Para la selección de la fuente de poder, se debe tomar en cuenta que esta además de alimentar al PLC y los relés se debe alimentar a la pantalla KTP 600. EL consumo de los relés al estar todos encendidos no supera 1 amperio de consumo, mientras que la pantalla consume 0.5 amperio, para el PLC se lo analiza en la siguiente tabla de acuerdo a los módulos utilizados:

Tabla 14. Consumo de corriente PLC.

Elemento	Consumo
CPU 1214 DC/DC/Relé	400 mA
10 Entradas CPU 1214 DC/DC/Relé	10*4mA = 40 mA
1 SM 1223 16 DI/ 16 DO	500 mA
1 SM 1231 AI 4x13 bits	45 mA
Consumo total	995 mA.

En total se tiene 2, 95 mA, por lo que con un factor de seguridad de 1.2, se tiene 3,54 mA de consumo. Por lo que la mejor opción para la fuente de poder es la una fuente SITOP modular de 5A con salida a 24 Vdc, con una entrada 120/230 – 500 Vac, mostrada en la figura 71.



Figura 71. Relés de interfaz.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Finalmente el cable a utilizar para el control, será AWG 18.

Para la parte de potencia, se escoge en primer lugar un braker de seguridad de 5 Amperios para la fuente SITOP. Además se tendrá otro braker bifásico para el mando de todos los actuadores, el mismo debe ser de 10 Amperios para el mando de todos los actuadores.

Para el motor de la unidad hidráulica se selecciona un guardamotor, el mismo es del tipo mostrado en la figura 72, para un motor de 10 Amperios.

Descripción				
Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito
Nuevos Guardamotores SIRIUS Innovations				
3RV20 11 - 0JA10	3RV1011 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13
3RV20 11 - 1AA10	3RV1011 - 1AA10	500	1.1 - 1.6	21
3RV20 11 - 1BA10	3RV1011 - 1BA10	500	1.4 - 2.0	26
3RV20 11 - 1CA10	3RV1011 - 1CA10	500	1.8 - 2.5	33
3RV20 11 - 1DA10	3RV1011 - 1DA10	500	2.2 - 3.2	42
3RV20 11 - 1EA10	3RV1011 - 1EA10	500	2.8 - 4.0	52
3RV20 11 - 1FA10	3RV1011 - 1FA10	500	3.5 - 5.0	65
3RV20 11 - 1GA10	3RV1011 - 1GA10	500	4.5 - 6.3	82
3RV20 11 - 1HA10	3RV1011 - 1HA10 ó 3RV1021 - 1HA10	500	5.5 - 8.0	104
3RV20 11 - 1JA10	3RV1011 - 1JA10 ó 3RV1021 - 1JA10	500	7.0 - 10.0	130
3RV20 11 - 1KA10	3RV1011 - 1KA10 ó 3RV1021 - 1KA10	500	9.0 - 12.0	163
3RV2011 - 4AA10	3RV1021 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208
3RV2021 - 4BA10	3RV1021 - 4BA10	50	14.0 - 20.0	260
3RV2021 - 4CA10	3RV1021 - 4CA10	50	17.0 - 22.0	286
3RV2021 - 4DA10	3RV1021 - 4DA10	50	20.0 - 25.0	325
3RV2021 - 4NA10	3RV1031 - 4EA10	50	23.0 - 28.0	364
3RV2021 - 4EA10	3RV1031 - 4EA10	50	27.0 - 32.0	400

Figura 72. Guardamotor trifásico.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Por seguridad se escoge un guardamotor que está entre 11 y 16 Amperios. También se debe seleccionar dos guardamotores para cada grupo de ventiladores, donde los mismos deben estar entre 9 y 12 Amperios.

Finalmente los contactores para activar en primer lugar el motor se dimensionan igual que el guardamotor para 11 a 16 Amperios. Y los contactores para el accionamiento de los ventiladores se lo hará por grupos, cada uno de los ventiladores trabajando a su máxima capacidad consumen 1 Amperio. Se agrupan los ventiladores de en cada uno, por lo que se selecciona un contactor entre 3.5 y 5 Amperios, para seleccionar los mismos se utiliza la tabla de la figura 73.

Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A)	Para contactores serie SIRIUS
Relés de sobrecarga Bimetálicos SIRIUS Innovations				
3RU2116-0JBO	3RU1116-0JBO	S00	0.7 - 1.0	3RT201
3RU2116-1ABO	3RU1116-1ABO	S00	1.1 - 1.6	3RT201
3RU2116-1BBO	3RU1116-1BBO	S00	1.4 - 2.0	3RT201
3RU2116-1CBO	3RU1116-1CBO	S00	1.8 - 2.5	3RT201
3RU2116-1DBO	3RU1116-1DBO	S00	2.2 - 3.2	3RT201
3RU2116-1EBO	3RU1116-1EBO	S00	2.8 - 4.0	3RT201
3RU2116-1FBO	3RU1116-1FBO	S00	3.5 - 5.0	3RT201
3RU2116-1GBO	3RU1116-1GBO	S00	4.5 - 6.3	3RT201
3RU2116-1HBO	-	S00	5.5 - 8.0	3RT201
3RU2116-1JBO	-	S00	7.0 - 10.0	3RT201
3RU2126-1CBO	3RU1126-1CBO	S0	1.8 - 2.5	3RT202
3RU2126-1DBO	3RU1126-1DBO	S0	2.2 - 3.2	3RT202
3RU2126-1EBO	3RU1126-1EBO	S0	2.8 - 4.0	3RT202
3RU2126-1FBO	3RU1126-1FBO	S0	3.5 - 5.0	3RT202
3RU2126-1GBO	3RU1126-1GBO	S0	4.5 - 6.3	3RT202
3RU2126-1HBO	3RU1126-1HBO	S0	5.5 - 8.0	3RT202
3RU2126-1JBO	3RU1126-1JBO	S0	7.0 - 10.0	3RT202
3RU2126-1KBO	3RU1126-1KBO	S0	9.0 - 12.5	3RT202
3RU2126-4ABO	3RU1126-4ABO	S0	11.0 - 16.0	3RT202
3RU2126-4BBO	3RU1126-4BBO	S0	14.0 - 20.0	3RT202
3RU2126-4DBO	3RU1136-4DBO	S0	20.0 - 25.0	3RT202
3RU2126-4NBO	3RU1136-4EBO	S0	23.0 - 28.0	3RT202
3RU2126-4EBO	3RU1136-4EBO	S0	27.0 - 32.0	3RT202
3RU2126-4PBO	3RU1136-4FBO	S0	30.0 - 36.0	3RT202
3RU2126-4FBO	3RU1136-4FBO	S0	34.0 - 40.0	3RT202

Figura 73. Contactores trifásico.

Fuente: Siemens. Lista de precios industriales Ecuador. Edición 2013.

Finalmente el cable empleado para la parte de potencia es cable AWG N° 8.

En la figura 74 se muestra como queda estructurado el tablero con las respectivas seguridades, canaletas, elementos, marquillas y cables.

Además algunos planos eléctricos se los muestra en el anexo C.

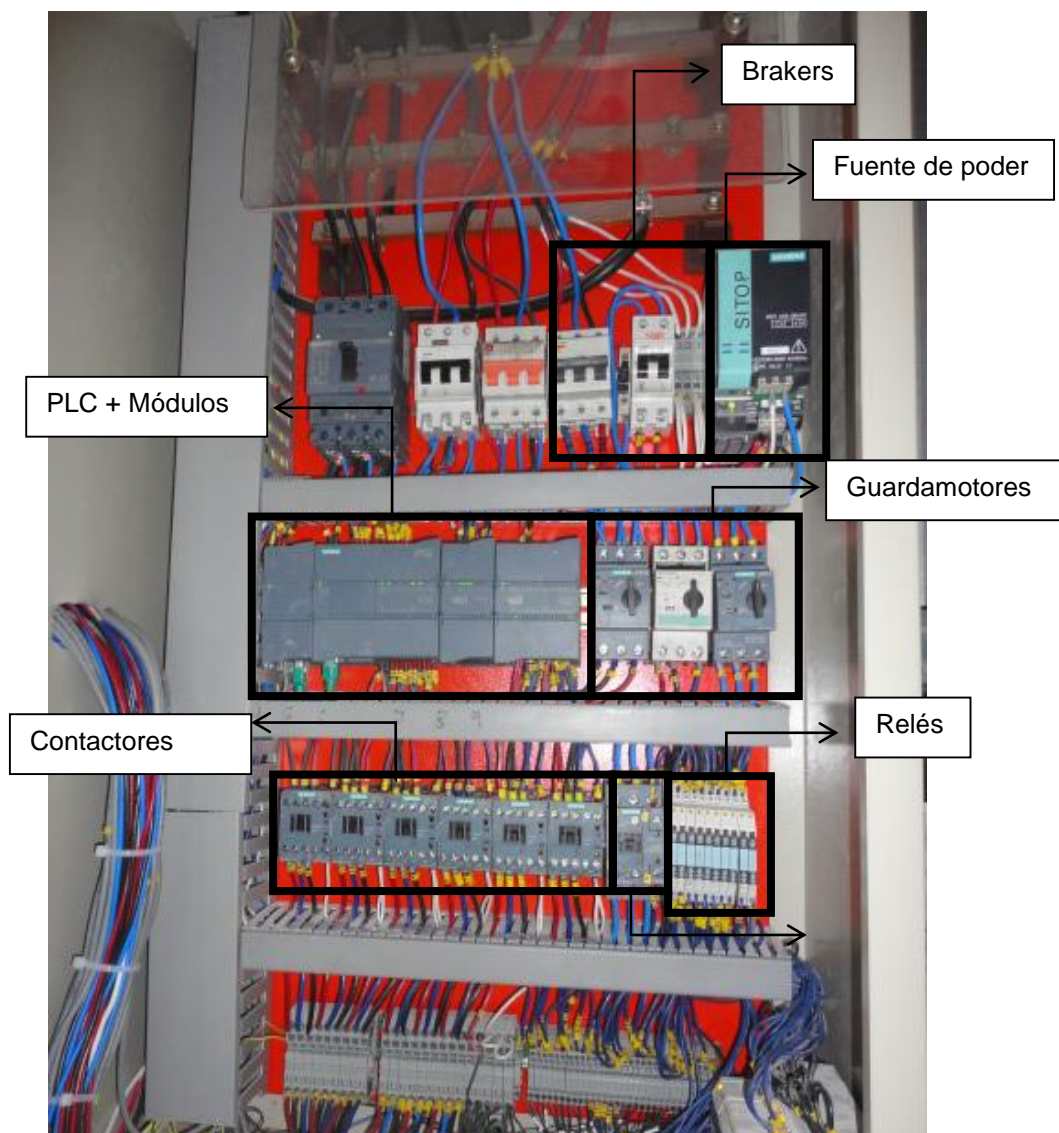


Figura 74. Elementos del tablero eléctrico.

Capítulo IV

4. Pruebas de funcionamiento y manual de usuario

En este capítulo se definen los ajustes realizados en el sistema mecánico de levantamiento y en el sistema neumático de desmoldeo. También las calibraciones propias hechas en cada uno de los actuadores, para su correcto funcionamiento. Por otro lado se colocarán cada uno de los sensores en las posiciones adecuadas para que permitan controlar el proceso.

Finalmente en este capítulo se establecerán los manuales tanto para el manejo correcto de la máquina que permitirá responder a las diferentes respuestas que tenga la máquina como un manual de mantenimiento que asegurará la vida útil de la máquina y cada uno de sus componentes.

4.1 Pruebas de sistemas mecánicos

4.1.1 Sistema mecánico

Las pruebas en el sistema mecánico se descomponen principalmente para la parte hidráulica y neumática.

Neumática

En primer lugar para el sistema neumático las pruebas se realizan con el desmolmoldador, empezando con el control neumático y el sistema de giro. Como se aprecia en la figura 75, las mismas se realizan en vacío para lograr los ajustes en las velocidades con las que salen o regresan los dos pistones de fuerza, con la ayuda de los reguladores de caudal BANJO, que son de fácil manipulación. De la misma forma la comprobación de la presión de trabajo a

la cual trabaja el sistema para la activación de todas las válvulas de manera idónea y de acuerdo a los límites establecidos.



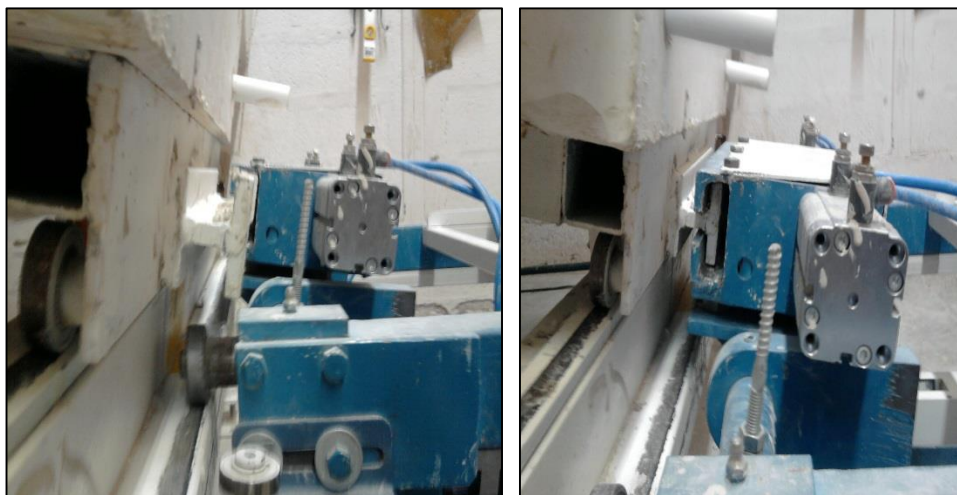
Figura 75. Pruebas sistema neumático de giro y control neumático.

A continuación se comprueba el sistema de apriete y que el mismo trabaje en los rangos definidos y de la manera adecuada. Se realizan algunas pruebas para asegurarse del funcionamiento de manera continua. En el mismo se asegura que los pines realicen el movimiento perpendicular al eje de los mini-cilindros, y que este se realice simultáneamente, como se muestra en la figura 76.



Figura 76 Pruebas sistema neumático de apriete.

De manera simultánea se calibra ya en la línea con los coches, la posición y la inclinación que debe llevar la caja de apriete, como se muestra en la figura 77a y figura 77b, todo esto con la ayuda de los fines de carrera tanto para el giro como para el retorno.



(a)

(b)

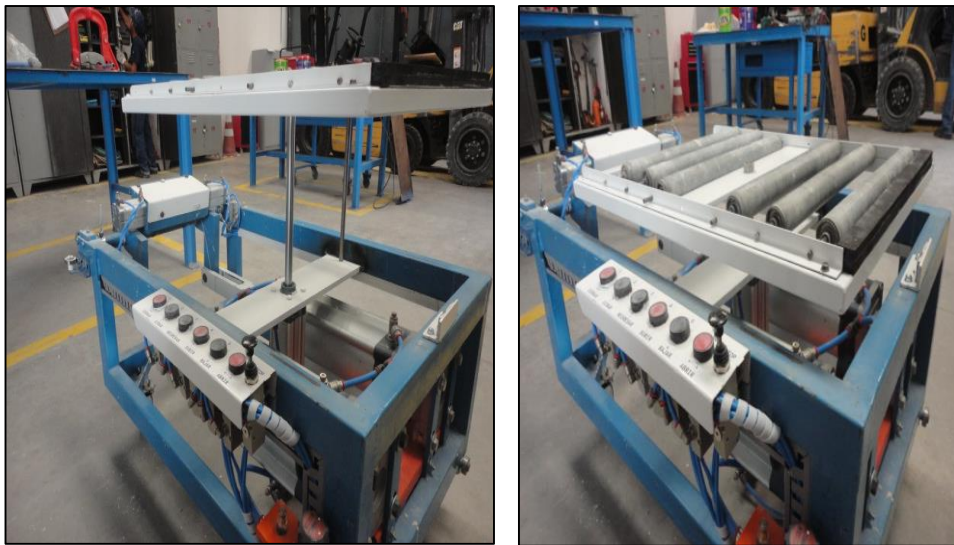
Figura 77 Ajuste de inclinación del sistema de apriete.

Otro elemento mecánico para calibrar son las guías regulables de los costados del desmoldador, que evitarán que el mismo pueda descarrilarse en el movimiento a lo largo de la línea. Los mismos se muestran en la figura 78.



Figura 78 Calibración de guías laterales.

Finalmente se procede a ajustar la mesa de elevación en la posición deseada para tener un correcto desmolde sin que la pieza sufra daños o se trabe con la mesa. De igual manera aquí se calibran los reguladores de caudal BANJO para controlar la subida y bajada de la mesa en una velocidad segura, como se aprecia en las figuras 79a y 79b.



(a)

(b)

Figura 79 Ajuste en mesa de elevación.

Teniendo ya el correcto funcionamiento del desmoldador, se procede con el ajuste de los cilindros neumáticos del sistema de giro de los ventiladores, en el mismo que se debe ajustar los reguladores tipo silenciador, ubicados en la válvula de control, como se aprecia en la figura 80, para controlar la velocidad del giro del grupo de ventiladores en uno o en otro sentido.

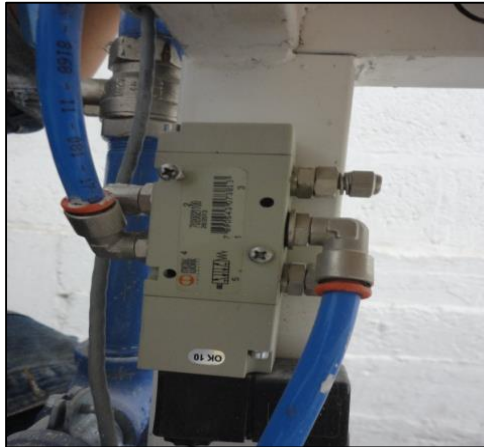


Figura 80 Ajuste en reguladores del sistema de ventilación.

Por último se debe ajustar la presión a la cual deberán trabajar las válvulas para el llenado y vaciado, mostradas en la figura 81a y figura 81b, el regulador es general para cada todas ellas.



(a)



(b)

Figura 81 Ajuste de presión en válvulas de llenado.

Hidráulico

Terminados ya los ajustes en el sistema neumático, para la calibración de la parte hidráulica que es más delicada por la fuerza que se debe manejar se

procede con la calibración en la que se debe controlar dos temas, que son la uniformidad en el trabajo de los pistones en las dos líneas, lo que quiere decir que simultáneamente eleven o hagan el prensado, la velocidad con que se realiza el mismo y el límite de presión que tendrá cada sistema por separado.

Empezando con el tema del movimiento simultáneo de los tres pistones tanto a la subida como a la bajada, estos se calibran, con los reguladores de caudal, ubicadas en la cada una de las entradas ubicadas en los extremos de los cilindros, como se muestra en la figura 82a y figura 82b.



(a)



(b)

Figura 82 Ajuste de reguladores de caudal.

Cabe recalcar que previo a esta calibración en los cilindros, los mismos se deben posicionar con la estructura y la guía manteniendo la perpendicularidad entre con el plano de los moldes, como se aprecia en la figura 83.



Figura 83 Ajuste de pistones hidráulicos.

Para las calibraciones tanto de la velocidad o la presión en la que trabajara cada sistema, se recurre a la unidad hidráulica, en la misma que se puede apreciar un regulador general de caudal para cada sistema y un presóstato que se los calibran de la misma forma con la llave hexagonal adecuada, como se aprecia en la figura 84.



Figura 84 Ajuste en unidad hidráulica.

4.2 Pruebas sistemas eléctricos

Previo a las pruebas se debe calibrar los respectivos sensores, empezando con los fines de carrera tanto superior e inferior. Como se aprecia en la figura 85 este por las pruebas de moldeo realizado se acuerda en ponerlo a 80 centímetros sobre la altura del molde.



Figura 85 Ajuste y posicionamiento de fines de carrera.

Los fines de carrera inferiores se los ubica por razones de seguridad y los mismos se los calibra cuando la línea se encuentra prensada a un centímetro más bajo a esta posición, como se muestra en la figura 86.



Figura 86 Ajuste de fines de carrera inferiores.

Para el llenado de los embudos el elemento que los controla es el sensor de nivel alto, el mismo se lo regula de acuerdo a requerimientos del área de colado, como se aprecia en la figura 87.

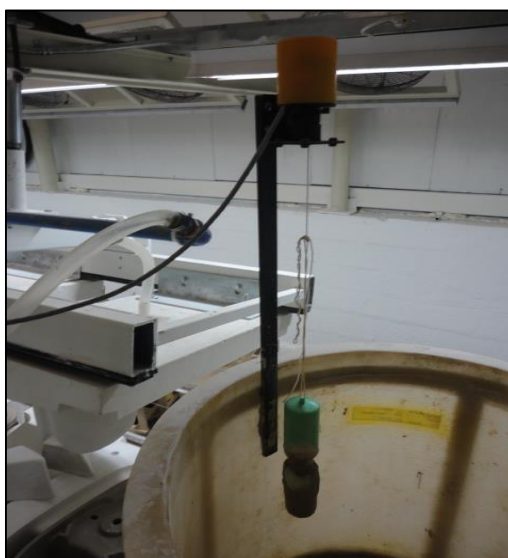
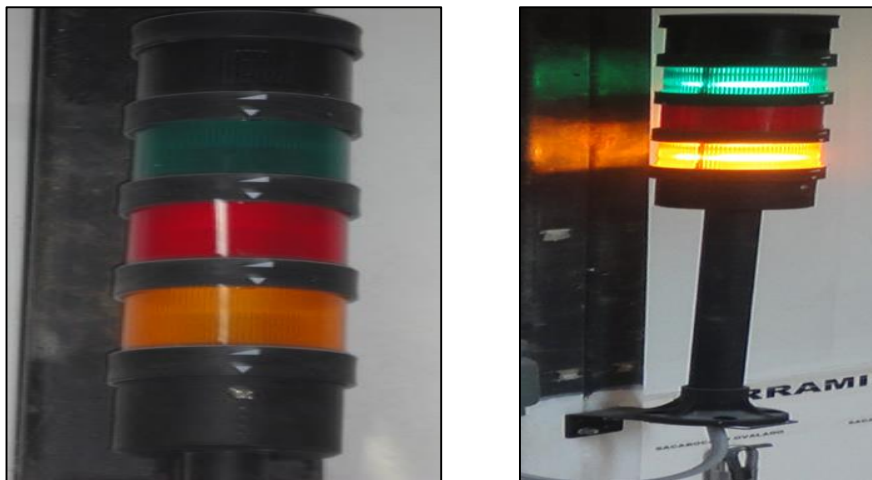


Figura 87 Ajuste de sensor de nivel alto.

Todas y cada una de las pruebas de los sistemas eléctricos se las hace primeramente en vacío, esto quiere decir sin el accionamiento mecánico o neumático correspondiente. Únicamente comprobando que cada una de las señales desde el PLC sean enviadas correctamente a cada uno de los actuadores. Aquí se puede comprobar por medio de la baliza de colores y la sonora, mostradas en las figuras 88a y 88b, el funcionamiento correcto del programa con todas sus características.



(a)

(b)

Figura 88 Alarmas visuales y sonoras.

Finalmente se debe comprobar que el programa corre tanto en modo manual o automático, se empieza haciendo las pruebas en modo manual de cada uno de los actuadores, empezando con el motor y los mandos de subir y bajar, como se muestra en la figura 89, a continuación cada una de las válvulas de llenado, cebado y soplado.



Figura 89 Pantalla de manejo manual.

Luego se hacen pruebas con tiempos cortos para el modo automático, empezando con la configuración de los tiempos como se muestra en la figura 90, y luego en la pantalla de proceso en los mismos que se puede manipular tanto el funcionamiento de los botones de detención de prensado o de emergencia como se muestra en la figura 91. También cambios de los tiempos en proceso. Y cortes de proceso o de energía. Cada uno de ellos se especifica en el manual de usuario que se encuentra adjunto en el anexo A.

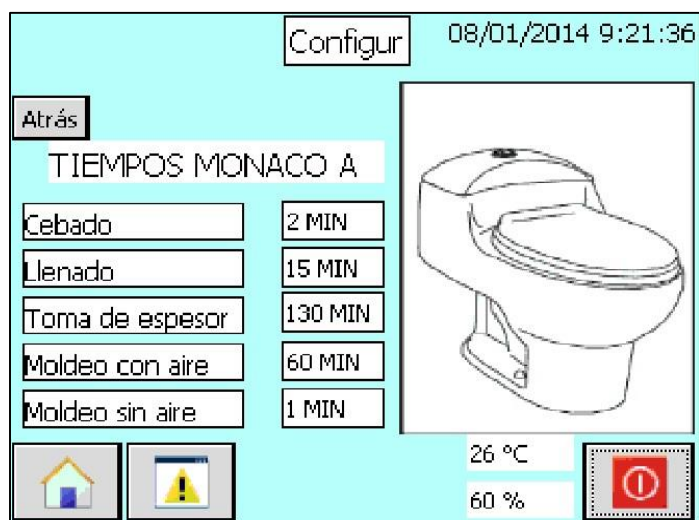


Figura 90 Pantalla de Configuración.



Figura 91 Pantalla de proceso.

En estas primeras pruebas se estima el tiempo en el que se llenan los moldes, que se lo estipula en 15 minutos para asegurar el correcto llenado.

La posición de la pantalla por facilidad de manejo se la ubica en el centro da las dos líneas para poder observar el funcionamiento de cada una por individual, como se muestra en la figura 92.



Figura 92 Pantalla táctil posicionada entre las dos líneas.

4.3 Manual de operación

Este manual sirve para que los encargados de la línea y los operarios puedan manipular la máquina tanto en modo manual como automático, además sepan el orden en el cual cada uno de los actuadores se accionará en el proceso y conozcan cada una de las alertas visuales o sonoras que se dan en el transcurso del mismo. También de las acciones a tomar en caso de una emergencia o de querer realizar cambios en los tiempos de proceso. Este manual contiene una explicación detallada de cada botón y la acción que el mismo produce, además de las limitaciones para cada tipo de usuario. Este manual está adjunto en el Anexo A.

4.4 Manual de Mantenimiento

Para poder dar una vida útil a cada uno de los elementos del sistema, se elabora un manual de mantenimiento preventivo, el mismo que indica las tareas a realizarse en cada una de las partes a realizarse, tanto para la parte mecánica como eléctrica y todas con una frecuencia programada.

También se indica en caso de tener fallas cual es el procedimiento a realizar y con quien comunicarse por cada uno de los elementos de la máquina. Todo esto se encuentra adjunto en el anexo B.

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo luego de definir cada uno los aspectos y de haber hecho las correcciones del caso en base al trabajo realizado se constatan los resultados obtenidos y se plantean mejoras a ser implementadas de ser el caso en futuros desarrollos sobre la línea prototipo diseñada y construida íntegramente en la empresa auspiciante.

Conclusiones

- La línea prototipo de desmoldeo automático cumple con todas las características establecidas, brindando un trabajo ergonómico al operario tanto al momento del llenado como en el desmolde, ofreciendo una interfaz amigable que permite una manipulación centralizada y autónoma de las dos líneas.
- Al contar con los sistemas de desmolde automáticos existe un ahorro sustancial del tiempo en el proceso, ya que todas las tapas se desmoldan y prensan al mismo tiempo, esto toma alrededor de un minuto el desmolde o el prensado, el proceso manual radica en hacerlo de uno por vez, el que llevaba como mínimo un minuto por molde, mostrando un ahorro del tiempo del 90%, además otorgando un sistema seguro para el trabajo de los operarios.
- La ayuda que brinda el coche desmoldador para el trabajo del operario además de ahorrar tiempo en el proceso de desmolde de la pieza, libra al mismo de un trabajo extenuante y repetitivo, permitiendo de esta

manera poder atender a los trabajos manuales en las piezas en cada una de las líneas.

- Se muestra una reducción en el tiempo de desmolde con el coche desmoldador, tomando en cuenta que al realizarlo de manera manual esta tomaba alrededor de cinco minutos. La reducción total del tiempo es de alrededor del 40% con respecto al que tomaría al hacerlo de manera manual.
- El tener el control de los tiempos de proceso más exacto, asegura que la formación de la pieza se cumpla de acuerdo a los parámetros establecidos y con el control del llenado elimina las imperfecciones en la pieza por cortes en el llenado.
- El prototipo presenta una versatilidad al cambio e instalación de otro tipo de modelos ONE-PIECE, siempre y cuando los mismos guarden similitud en las dimensiones exteriores de los moldes.
- La solución planteada de ventilación dirigida permite a la empresa auspiciante contar con un sistema que se puede replicar en las demás líneas y que se comprobó que mejora la recuperación de los moldes y las piezas de manera significativa.
- Cada uno de los sistemas implementados cuentan con un nivel de mantenibilidad muy bajo ya que los sistemas neumáticos e hidráulicos son muy fiables y el manual de mantenimiento preventivo adjunto en el anexo C muestra la manera de alargar la vida útil de los elementos.

Recomendaciones

- Como un sistema alternativo para brindar una mayor ergonomía al proceso, se puede pensar en transportadores neumáticos que ubiquen las piezas ya terminadas en los coches que son los encargados de llevar las piezas a la zona de secado.
- Debido al costo del sistema hidráulico, se puede pensar en una opción para trabajar con pistones neumáticos, siempre y cuando los mismos brinden las garantías en el prensado tanto de mantener sellados los moldes, ya que el aire es compresible y la esbeltez de los pistones, lo que quiere decir que los mismos no fallen.
- Para dar mayor seguridad en el prensado de la línea se pueden ubicar sensores en los costados de las líneas que adviertan de la presencia de objetos extraños, provocando la detención del prensado.
- El manejo de un sistema centralizado de monitoreo y control, con almacenamiento de datos, resultaría útil para el caso de contar con un número mayor de líneas automáticas, para de esta manera poder tener un control estadístico tanto de los tiempos de proceso como de la durabilidad de los moldes.

Bibliografía

- ASHRAE (La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción). (2009). *ASHRAE Fundamentals 2009*.
- Endineering Mannesmann Rexroth. (October de 2010). Hydro-electric pressure switch Type HED 8. *Series 1X Maximum operating pressure 630 bar*. Rexroth Hydraulics.
- Harry, P. (1981). *Ingenieria Simplificada para arquitectos y constructores*. Editorial Limusa.
- Italia Castello . (Diciembre de 2008). *Thermoplastic Extrusion Specialist. Espirales con espigas ES*. Italia: Castello Italia.
- Italia castello. (Diciembre de 2008). *Thermoplastic Extrusion Specialist. Tubi per utilizzi particolari in pneumatica e* . Italia: Castello Italia.
- Metalwork . (Noviembre de 1012). *Pneumatic. Catalogo Compatto*. Italia: Cancesia BS.
- Omega. (s.f.). *User´s Guide. HX15 High Temperatura Relative Humidity/Temperatura Probe Transmitter*. USA.
- Santillana, J. S. (2008). Tema 10. *Pandeo*. Escuela Politecnica Superior de Zamora- Universidad de Salamanca.
- Siemens. (1 de Enero de 2013). *Lista de precios Ecuador. Productos Electricos Industriales*. Quito, Ecuador: Industry Sector.
- Spirax Sarco Enginerring Group. (Abril de 2007). *Solenoid Valves*. Italia .
- Valbia. (s.f.). *Sistema Antipulsione*.