

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROCESADOR DE ALIMENTOS PARA
ELABORACIÓN DE CANASTILLAS DE PATACÓN DE DIFERENTES TAMAÑOS

JHON LEWIS LORA CHINCHIA
JORGE ANDRÉS JAIMES CALVETE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROCESADOR DE ALIMENTOS PARA
ELABORACIÓN DE CANASTILLAS DE PATACÓN DE DIFERENTES TAMAÑOS

JHON LEWIS LORA CHINCHIA

JORGE ANDRÉS JAIMES CALVETE

TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

DIRECTOR

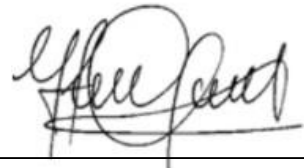
M. Sc. HERNANDO GONZÁLEZ ACEVEDO

CODIRECTOR

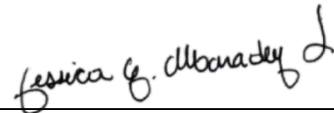
OSCAR EDUARDO RUEDA SANCHEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2021

Nota de aceptación



M. Sc. Hernando González Acevedo
Director del proyecto



M. Eng. M. Sc. Ing. Jessica Gisella Maradey Lázaro
Evaluadora del proyecto



Mag. Esp. Ing. Roger Peña Meza
Evaluador del proyecto

Bucaramanga, noviembre de 2021

DEDICATORIA

A mis padres que desde el inicio de este proceso fueron un apoyo incondicional.
A mis hermanos, mi hermano mayor que no está y fue el motor para seguir adelante. A mi novia por brindarme amor y apoyo en todo momento, también a su familia que cada que necesite de ellos vieron en bien extender una ayuda.

Jhon Lewis Lora Chinchia

A Dios por ser mi fortaleza y fuente de sabiduría en todo momento, a mi madre, padre y hermano que son mis mentores y mi motor.
A mis abuelos y demás familiares por su incondicional apoyo y ejemplo.
A mi novia que siempre ha estado presente en mis alegrías y derrotas brindándome su amor y voz de aliento para lograr este sueño; a su familia, que me ha acogido como un miembro más de su hogar, haciéndome ver que una familia no es solo por vínculo sanguíneo. A todos, los llevo en mi corazón.

Jorge Andrés Jaimes Calvete

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por sus bendiciones e infinito amor. A todas las personas que intervinieron y fueron parte de este proceso, nuestras familias principalmente; que nos acompañaron y apoyaron en todo momento para la toma de nuestras decisiones en este proyecto. A la empresa PATACOMA EXPRESS S.A.S., que nos apoyó económicamente en la ejecución y construcción del prototipo.

RESUMEN

El presente trabajo hace referencia al diseño y construcción de un procesador de alimentos para la elaboración de canastas de patacón de distintos tamaños, implementando áreas de diseño mecatrónico y automatización. Además, teniendo en cuenta la normativa actual de los materiales que tengan contacto con productos de carácter alimenticio regulados por el INVIMA, se requiere la selección de materiales óptimos para el procesamiento de la materia prima (en este caso el plátano precocido). El principio de funcionamiento se basa en el aumento de la producción donde con el uso de dos bandejas en trabajo continuo se reducen los tiempos de ocio o espera en cada ciclo de procesamiento. Mediante el análisis y modelamiento del sistema neumático, se determina la fuerza requerida para la elaboración manual de una canasta de patacón a partir de la máquina artesanal con la que cuenta la empresa. Igualmente, con el flujo másico de aire y el diámetro requerido del actuador, se seleccionan los principales componentes del sistema de embutido. La máquina es controlada por un PLC de la marca Mitsubishi de referencia FX1N-20MR, el cual maneja un rango de voltaje de nivel industrial, a partir del cual se seleccionaron algunos actuadores del sistema. Posteriormente, con la ejecución de pruebas, se valida el funcionamiento, determinando la capacidad de producción y el tiempo de operabilidad donde se tienen resultados favorables que lograron aumentar hasta 3 veces la producción, obteniendo la aprobación y aceptación de la empresa solicitante.

PALABRAS CLAVE: Procesador de alimentos, PLC, MITSUBISHI, sistema neumático.

ABSTRACT

This work refers to the design and construction of a food processor for the production of patacón baskets of different sizes, implementing areas of mechatronic design and automation. In addition, taking into account the current regulations of materials that have contact with food products regulated by INVIMA, it is required the selection of optimal materials for the processing of the raw material (in this case precooked plantain). The principle of operation is based on the increase of production where the use of two trays in continuous work reduces the idle or waiting times in each processing cycle. Through the analysis and modeling of the pneumatic system, the force required for the manual processing of a basket of patacón is determined from the company's artisanal machine. Likewise, with the mass flow of air and the required diameter of the actuator, the main components of the stuffing system are selected. The machine is controlled by a Mitsubishi PLC of reference FX1N-20MR, which handles an industrial level voltage range, from which some actuators of the system were selected. Subsequently, with the execution of tests, the operation is validated, determining the production capacity and the operability time where favorable results were obtained, increasing up to 3 times the production, obtaining the approval and acceptance of the applicant company.

KEYWORDS: Food processor, PLC, MITSUBISHI, pneumatic system.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| TABLA DE CONTENIDO | 8 |
| LISTAS DE FIGURAS..... | 10 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2 OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1 Objetivo general | 13 |
| 2.2 Objetivos específicos | 13 |
| 3 DISEÑO DE LA MÁQUINA PATACONERA | 14 |
| 3.1 Requerimientos y consideraciones preliminares..... | 14 |
| 3.1.1 Detección de falencias..... | 14 |
| 3.2 Análisis de la fuerza requerida | 15 |
| 3.2.1 Pruebas experimentales. | 15 |
| 3.3 Sistema de accionamiento..... | 18 |
| 3.3.1 Análisis para un sistema de accionamiento neumático | 18 |
| 3.3.2 Modelado flujo másico de aire. | 20 |
| 3.3.3 Descripción de los componentes neumáticos seleccionados..... | 24 |
| 3.3.4 Simulaciones de la fuerza obtenida a partir del actuador seleccionado. | 27 |
| 3.4 Selección del controlador del sistema | 29 |
| 3.4.1 Programación del controlador..... | 30 |
| 3.4.2 Selección de la pantalla de visualización y configuración del sistema..... | 34 |
| 3.5 Diseño del sistema de potencia..... | 35 |
| 3.6 Diseño de planos eléctricos para el sistema de control | 37 |
| 3.7 Normativa..... | 38 |
| 3.8 Análisis estático de la estructura mecánica. | 38 |
| 3.8.1 Características del acero inoxidable 304. | 43 |
| 3.9 Diseño CAD final..... | 43 |
| 3.9.1 Descripción de componentes..... | 44 |
| 3.9.2 Sistema de control..... | 45 |
| 3.9.3 Sistema de embutido | 46 |
| 3.9.4 Sistema de riel y bandejas inferior | 47 |
| 3.9.5 Sistema de riel y bandejas superior | 47 |
| 4 CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA PATACONERA | 48 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Etapa de construcción mecánica..... | 48 |
| 4.1.1 | Consideraciones para el funcionamiento de la máquina | 51 |
| 4.2 | Etapa de construcción eléctrica..... | 52 |
| 4.3 | Evaluación y diagnóstico de posibles averías en el ensamble mecánico..... | 53 |
| 4.4 | Ensamblaje total del sistema..... | 54 |
| 5 | VALIDACIÓN DE LA MÁQUINA PATACONERA | 57 |
| 5.1 | Pruebas preliminares de los componentes de la máquina..... | 57 |
| 5.2 | Pruebas de funcionamiento..... | 60 |
| 5.2.1 | Pruebas de repetibilidad..... | 60 |
| 5.2.2 | Pruebas de fuerza del actuador neumático..... | 62 |
| 5.2.3 | Pruebas del sistema de potencia | 65 |
| 5.2.4 | Pruebas de funcionamiento por operario | 66 |
| 5.3 | Planteamiento de mejoras..... | 66 |
| 5.3.1 | Problemas de adherencia..... | 67 |
| 5.3.2 | Problema de calentamiento en los actuadores | 72 |
| 5.3.3 | Problemas de estética | 73 |
| 5.4 | Comparación de resultados..... | 73 |
| 5.5 | Visita de revisión por parte del empresario..... | 74 |
| 5.6 | Entrega y análisis de desempeño en campo de la máquina | 75 |
| 5.7 | Posibles mejoras a futuro..... | 76 |
| 6 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 78 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 80 |
| | ANEXOS | 82 |
| | ANEXO A..... | 82 |
| | ANEXO B..... | 84 |
| | ANEXO C..... | 90 |
| | ANEXO D..... | 95 |
| | ANEXO E..... | 98 |
| | ANEXO F..... | 99 |
| | ANEXO G..... | 101 |

LISTAS DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Modelado CAD de la máquina artesanal. Autores..... | 15 |
| Figura 2. Sensor FSR interlink 406 con curva de comportamiento. [3]..... | 16 |
| Figura 3. Representación gráfica del acoplamiento de la galga. Autores | 16 |
| Figura 4. Parámetros para el modelamiento de flujo másico. Autores..... | 20 |
| Figura 5. Consumo específico de aire por diámetro de émbolo. [6]..... | 22 |
| Figura 6. Selección del actuador neumático. [7]..... | 23 |
| Figura 7. Cilindro normalizado DSBC 50-200 seleccionado. [8] | 23 |
| Figura 8. Accesorios y componentes seleccionados del catálogo Festo. [7] | 24 |
| Figura 9. Electroválvula direccional 5/2 VUVS-L25. [8] | 25 |
| Figura 10. Regulador de flujo unidireccional seleccionado. [8]..... | 26 |
| Figura 11. Compresor neumático seleccionado. [8] | 27 |
| Figura 12. Configuración de parámetros del cilindro neumático. Autores..... | 27 |
| Figura 13. Simulación del sistema neumático en conjunto. Autores..... | 28 |
| Figura 14. Diagrama estado-fase del sistema. Autores..... | 29 |
| Figura 15. PLC FX1N-20MR seleccionado [9]..... | 30 |
| Figura 16. Máquina de estados del sistema. Autores..... | 33 |
| Figura 17. Entorno de programación del software GX-WORKS2. Autores | 33 |
| Figura 18. Pantalla doble fila seleccionada. [9] | 34 |
| Figura 19. Componentes y conexiones del sistema. Autores..... | 35 |
| Figura 20. Fuente de alimentación 24 VDC seleccionada. [9] | 36 |
| Figura 21. Planos del sistema de control. Autores | 37 |
| Figura 22. Acoplamiento de actuador en la estructura base del sistema. Autores..... | 39 |
| Figura 23. Resultados obtenidos del análisis de tensión Von Mises. Autores. | 41 |
| Figura 24. Resultados obtenidos del cálculo de factor de resistencia. Autores. | 42 |
| Figura 25. Ángulo acero AISI 304 seleccionado. [16]..... | 43 |
| Figura 26. Diseño CAD final de la máquina. Autores. | 44 |
| Figura 27. Componentes de la máquina. Autores. | 45 |
| Figura 28. Descripción de los componentes enumerados. Autores..... | 45 |
| Figura 29. Convenciones del tablero de control del prototipo. Autores..... | 46 |
| Figura 30. Sistema de embutido de la máquina. Autores | 46 |
| Figura 31. Sistema de riel y bandejas inferiores. Autores..... | 47 |
| Figura 32. Sistema de riel superior. Autores | 47 |
| Figura 33. Corte y mecanizado del material. Autores..... | 49 |
| Figura 34. Sistema de rieles. Autores. | 49 |
| Figura 35. Moldes hembras. Autores | 50 |
| Figura 36. Mecanizado y montaje de moldes machos. Autores..... | 50 |
| Figura 37. Ensamble parcial de la máquina. Autores. | 51 |
| Figura 38. <i>Puerta superior de seguridad.</i> Autores..... | 51 |
| Figura 39. Cableado preliminar del sistema electrónico. Autores. | 52 |
| Figura 40. Montaje de componentes electrónicos. Autores..... | 53 |
| Figura 41. Mecanismo usado en cambio de moldes superiores. Autores. | 54 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 42. fuente de alimentación neumática. Autores.....</i> | <i>54</i> |
| Figura 43. Vista exterior de la máquina. Autores..... | 55 |
| Figura 44. Sistema de bandejas inferiores. Autores..... | 55 |
| Figura 45. Controles de mando del sistema. Autores..... | 55 |
| Figura 46. Prueba unitaria del controlador del sistema. Autores. | 57 |
| Figura 47. Prueba unitaria HMI. Autores. | 58 |
| Figura 48. Pruebas realizadas para el sistema electrónico. Autores | 59 |
| Figura 49. Pruebas realizadas para el sistema neumático. Autores | 59 |
| Figura 50. Pruebas realizadas para el sistema de embutido. Autores..... | 60 |
| Figura 51. Pruebas de embutido con 10 ciclos de proceso. Autores. | 61 |
| Figura 52. Simulación de producto final obtenido. Autores..... | 61 |
| Figura 53. Producto preliminar obtenido. Autores. | 62 |
| Figura 54. Adaptación de la celda de carga en el sistema de embutido. Autores | 63 |
| Figura 55. Canastas fabricadas para la prueba de presiones. Autores | 63 |
| Figura 56. Toma de datos de los componentes del sistema de control. Autores. | 65 |
| Figura 57. Pruebas realizadas por un operario. Autores | 66 |
| Figura 58. Moldes para la fabricación de patacones planos. Autores..... | 68 |
| Figura 59. Solución planteada. [18]..... | 68 |
| Figura 60. Resultados obtenidos sin la mejora para patacones planos. Autores..... | 69 |
| Figura 61. Resultados obtenidos sin la mejora para canastas de patacón. Autores | 69 |
| Figura 62. Proceso de embutido con la mejora para patacones planos. Autores | 71 |
| Figura 63. Proceso de embutido con la mejora para canastas de patacón. Autores | 71 |
| Figura 64. Cliente final probando la máquina. Autores..... | 75 |
| Figura 65. Entrega e instalación de la máquina. Autores | 75 |
| Figura 66. Producto final. Autores..... | 76 |

1 INTRODUCCIÓN

En Bucaramanga y su área metropolitana el sector de los restaurantes crece cada día más, según un estudio de la cámara de comercio hasta 2016 se reportaron 4.811 empresas dedicadas a la actividad de restaurantes hoy se estima que esta cifra es mucho mayor. [1] La estrategia que han desarrollado es la actualización de su menú de productos y con ello, la necesidad de implementar tecnología eficiente que las sitúe más cerca de su mercado objetivo, además de flexibilizar el procesamiento de materia prima con el fin de aumentar factores como calidad, nivel de producción y garantizar a los empleados seguridad laboral.

Dentro del procesamiento de materia prima en el sector alimenticio, se encuentran labores como recolección, corte, despulpado, manipulación, entre otras; que permiten obtener finalmente un producto para su comercialización. En el caso de los pequeños y medianos productores no se dispone de maquinaria automatizada en cada uno de los procesos mencionados, sino prototipos artesanales que implican procesos no óptimos de higiene, producción, rentabilidad y seguridad del operario.

Entre los establecimientos con la necesidad de aumentar factores como calidad, nivel de producción y garantizar a los empleados seguridad laboral, se encuentra la empresa "PATACOMA EXPRESS" ubicada en San Juan de Girón, municipio del área metropolitana de Bucaramanga que se dedica a la elaboración de patacones tipo canastilla, de este proceso hace parte fundamental una máquina manual de fabricación artesanal de baja eficiencia en cuanto a producción, automatización y materiales óptimos se refiere.

El presente proyecto busca la construcción de una máquina automatizada para el procesamiento y elaboración de alimentos tipo canastilla de patacón de acuerdo con los requerimientos de la empresa PATACOMA EXPRESS S.A.S, teniendo en cuenta que la materia prima es por naturaleza poco maleable por lo cual se acompleja la fabricación masiva y preservación del producto por la geometría solicitada, se deben especificar factores de la máquina tales como presión ejercida en la materia prima, velocidad de corte, espesor de pared, asegurar la forma estandarizada de cada producto, disminuir la pérdida de materia prima pegados en la madera y disminuir la dificultad para extraer las canastillas.

Actualmente en el mercado colombiano se pueden encontrar diversos tipos de máquinas pataconeras industriales entre ellas las producidas por la empresa "GRUENN" que se basa en normas de manufactura en ingeniería alemana, en consecuencia, sus precios son elevados ya que oscilan entre \$13'000.000 COP y \$55'000.000 COP lo que hace poco factible para la empresa adquirirla, por esta razón se desea construir una máquina a bajo costo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar una máquina pataconera a partir de la automatización del proceso de elaboración de patacones para reemplazar la maquina artesanal en la empresa PATACOMA EXPRESS.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las falencias de la máquina manual analizando posibles mejoras a partir de la revisión de sistemas industriales actuales.
- Diseñar la máquina teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa y las normas Invima para el tratamiento de alimentos llevando a cabo la automatización del proceso para suplir las necesidades funcionales establecidas.
- Construir la máquina haciendo uso de los materiales y herramientas industriales para obtener cada uno de sus componentes, el ensamblaje y la calibración de estos.
- Validar el funcionamiento de la máquina determinando la capacidad de producción y la calidad del producto para obtener la aceptación de la empresa.

3 DISEÑO DE LA MÁQUINA PATACONERA

Para el desarrollo del proyecto se emplea la metodología V, que está dividida en cinco etapas y enfocada principalmente en la fase de validación [2]. Cada nivel está conformado por sus respectivas actividades que permiten la ejecución de cada fase. Las etapas tenidas en cuenta a lo largo del trabajo realizado fueron:

- Requerimientos
- Elaboración de diseños
- Especificación de componentes
- Construcción
- Validación

3.1 Requerimientos y consideraciones preliminares.

Para dar inicio al proceso y cumpliendo así con la metodología anteriormente mencionada se solicitaron las cartas de requerimiento y apoyo económico por parte de la empresa asociada; las cuales se describen a continuación:

- La primera describe los requerimientos definidos por parte del cliente donde solicita que se elaboren canastas de patacón con la geometría de vasos desechables de 6 Oz y de 8 Oz que tengan un espesor de 5mm. Además, que se elaboren patacones pisados de 5 mm de grosor, con un nivel de producción de 16 canastillas de producto por minuto.
- La segunda carta confirma el apoyo económico con el que la empresa financiara el 50% del costo total del proyecto.

3.1.1 Detección de falencias.

Con los requerimientos de la empresa se establecieron diferentes actividades para cada etapa del proceso, como primera actividad se tenía una salida de campo para la realización de las pruebas experimentales en la empresa PATACOMA EXPRESS, se observaron ciertas falencias que presenta la máquina actual con la cual cuenta la empresa como las siguientes:

- La máquina no cumple con la normativa vigente por parte del INVIMA, donde se exige el uso de los materiales apropiados para la correcta e higiénica manipulación de alimentos, por tanto, se requiere la implementación de materiales adecuados como algunos polímeros y metales de carácter antiadherente.
- El sistema cuenta con un nivel de producción de aproximadamente 1 canastilla cada dos minutos, lo cual es un nivel relativamente bajo, afectando las ventas de la empresa.

- Debido al material que hace contacto con la materia prima (que en este caso es madera), se dificulta demasiado la formación geométrica de la canastilla debido a que la materia prima se adhiere a la madera, lo cual daña la canastilla fabricada.
- La máquina lleva alrededor de 3 años en uso, por tanto, al ser los moldes de madera, ya presentan desgaste en su geometría. Esto es causa de que en ocasiones las canastillas fabricadas presenten diferencias considerables de espesor en sus paredes, incluso quedar agujeradas en su parte inferior.
- Ya que la máquina actual está compuesta por piezas atornillables, se requiere la constante verificación y reajuste de dichos tornillos para el funcionamiento de la máquina.
- Debido al constante movimiento y aplicación de la fuerza en la máquina por parte del operario, se puede presentar cansancio e incluso fractura de muñeca debido a la repetibilidad del trabajo que se debe realizar.

Según las diferentes falencias encontradas en la maquina artesanal dispuesta por la empresa se definen otros parámetros de diseño para poder suplir en mayor grado las necesidades expuestas en cada ítem.

3.2 Análisis de la fuerza requerida.

3.2.1 Pruebas experimentales.

En la salida de campo a la empresa también se realizan diferentes pruebas con objetivo de calcular un estimado de fuerza necesaria para la fabricación de una canastilla de patacón. Con esto en cuenta se modela la máquina artesanal dispuesta en la empresa, al tener el diseño CAD se puede comprender de una mejor manera su modo de funcionamiento donde a partir del principio de palanca se desplaza el molde macho a través de un seguidor para así ser recibido por el molde hembra, el cual contiene la materia prima a procesar, y al oprimir entre si estos dos moldes se dan lo que es el embutido, originando así el producto final que será la canasta de patacón.



Figura 1. Modelado CAD de la máquina artesanal. Autores.

En la figura 1 se puede observar el modelo CAD y la maquina artesanal de la cual se realiza la prueba experimental que consistió en adaptar un sensor de fuerza a la máquina artesanal para realizar toma de datos de la fuerza experimentada para cada ciclo de producción. Teniendo en cuenta las medidas dimensionales se seleccionaron algunas referencias comerciales preliminares de galga extensiométrica, dado que la galga debe ser acoplada en el mecanismo de prensado se selecciona dadas las dimensiones de la máquina se detalla a continuación.

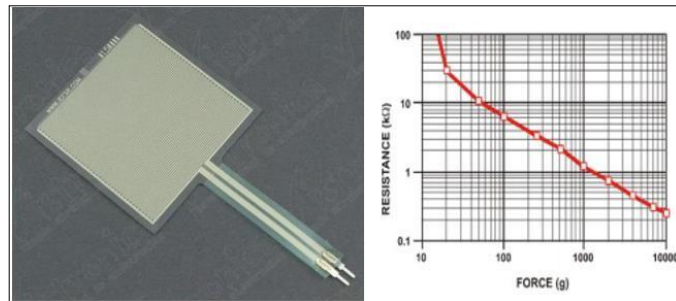


Figura 2. Sensor FSR interlink 406 con curva de comportamiento. [3]

Características:

- Este FSR puede detectar la fuerza aplicada en cualquier lugar en el rango de 100g-10kg.
- Longitud total: 88 mm
- Ancho total: 43 mm
- Área de detección: 38 X 38 mm
- Rango temperatura de funcionamiento: -30 ~70C.

El siguiente paso se trata en acoplar la galga escogida en la máquina artesanal, dicho acoplamiento se realizó en un punto estratégico donde se concentra la mayor fuerza que es transmitida por el mecanismo de palanca, como se observa en la figura 3.

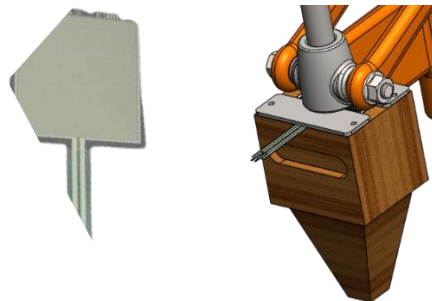


Figura 3. Representación gráfica del acoplamiento de la galga. Autores.

A partir del acoplamiento, se procede a realizar la respectiva calibración de la galga para la posterior toma de datos. Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

| Numero de prueba | Cantidad de materia prima [g] | Tiempo después de la cocción [m] | Volumen [lts] | Fuerza[N] | Fuerza [Kg] |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------|-------------|
| 1 | 120 | 5 | 135 | 28 | 2,86 |
| 2 | 120 | 12 | 125 | 42,64 | 4,35 |
| 3 | 120 | 17 | 120 | 46,56 | 4,75 |
| 4 | 120 | 20 | 105 | 56,145 | 5,73 |
| 5 | 120 | 25 | 112 | 46,896 | 4,78 |

Tabla 1. Resultados experimentales obtenidos. Autores.

Los datos recopilados en la tabla 1 fueron con relación a 5 pruebas realizadas para la fabricación de canastillas del mayor tamaño, ya que es para estas canastillas que se debe realizar un mayor esfuerzo para su elaboración por parte del operario. Se contemplaron algunas variables tales como la cantidad de materia prima para la elaboración de la canastilla, tiempo de toma de prueba después de la cocción, el volumen de producto que puede contener la canastilla fabricada y la respectiva fuerza para cada prueba realizada.

De los datos obtenidos se concluye que a un tiempo estimado de trabajo por plátanos cocidos de 25 minutos según la empresa se tiene que la fuerza promedio ejercida por la maquina artesanal fue de 44,04 N. Dada esta fuerza, se tiene que multiplicar por un factor de 4 para así obtener un el valor de fuerza mínima para el diseño del sistema de accionamiento. Así pues, el valor total de la fuerza experimental requerida es de 176,16 N. Con esto claro se parte para realizar los respectivos diseños para el sistema de accionamiento. Algunas particularidades y observaciones en la fase de pruebas experimentales fueron:

- La materia prima (plátano precocido) debe tener un punto de cocción fijo, ya que, si se está por encima o por debajo de ese punto de cocción, la materia prima presentara un muy bajo nivel de maleabilidad.
- El plátano debido a sus propiedades de maleabilidad, sólo permite un solo intento de moldeo, por tanto, si no se logra la geometría requerida en un intento, la materia prima no se podrá reutilizar, ya que habrá perdido sus propiedades de moldeo.
- La cantidad necesaria para la fabricación de una canasta de 9 Oz de contenido es de 120 g de plátano precocido. Dicha cantidad es proporcionada por el operario, para evitar malgasto de materia prima.
- El plátano precocido a medida que transcurre el tiempo luego de su cocción, requiere una aplicación de fuerza mayor, debido a que poco a poco el plátano en este estado de precocción pierde hidratación.

De los ítems anteriores se obtiene otros parámetros de diseño a tener en cuenta. Las evidencias de la respectiva salida de campo y toma experimental de muestras se encuentran en el ANEXO A.

3.3 Sistema de accionamiento.

Para la implementación de un sistema de accionamiento ya sea neumático o electromecánico, es necesario realizar un proceso inverso de diseño, donde se parte de la fuerza necesaria para moldear la materia prima obtenida en las pruebas experimentales para hallar las características de los componentes y actuadores necesarios para el sistema. Se realizaron ambos diseños, neumático y electromecánico, para poder seleccionar el que mejor cumpliera con los requerimientos donde teniendo en cuenta distintas variables se seleccionó el sistema de prensado neumático como se puede ver en el ANEXO F.

3.3.1 Análisis para un sistema de accionamiento neumático.

Para la implementación del sistema de prensado neumático, se debe iniciar con la selección del elemento final (actuador) que en este caso será un cilindro neumático de doble efecto. En la selección del cilindro se tiene en cuenta la carga que este va a manipular, además de su carrera o rango de funcionamiento útil.

Para lograr que el sistema funcione correctamente se realizan los cálculos teniendo en cuenta el mayor peso que se moviliza, es decir el peso de la bandeja de moldes macho. Para este tipo de sistemas es importante definir un factor de seguridad para así tener un mayor rango de funcionamiento del cilindro; en este caso se seleccionó un factor de 1,5. La fuerza requerida para que el cilindro mueva todo el conjunto está dada por la ecuación 1:

$$F = (m * f_s) * g \quad (Ec. 1)$$

m = masa que moviliza el cilindro; f_s = factor de seguridad del sistema; g = gravedad; F = fuerza requerida (N)

A partir del valor de fuerza total F_T calculado previamente, se calcula F como sigue en la ecuación 2:

$$F = F_T * f_s = 171,45N \quad (Ec. 2);$$

Con la fuerza necesaria calculada, se parte al análisis del diámetro del cilindro necesaria para cumplir con las condiciones establecidas. [4] El diámetro del cilindro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \left(\frac{D^2 * \pi * P * R}{4} \right) \quad (Ec. 3)$$

$F =$ fuerza requerida (N)

$D =$ Diametro del cilindro

$P =$ presión de trabajo (Pascal)

$R =$ Rendimiento del cilindro (se estima en 0.2 para cilindros menores a 60 mm)

El valor de la fuerza requerida es el obtenido anteriormente en las pruebas experimentales realizadas. La presión de trabajo se determina según los valores comerciales de presión en compresores, asumiendo la presión máxima del sistema, en este caso se determinó una presión de 8 Bar. Al despejar D se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{F * 4}{\pi * P * R}} \quad (Ec. 4)$$

Al reemplazar los valores de la ecuación 4 se obtiene: $D = 0.0324 \text{ m}$. Al obtener un valor de diámetro, se debe multiplicar este valor por un factor de seguridad ya que en el sistema se puede presentar grandes variaciones en la presión del aire. Entonces se contempla la ecuación 5:

$$D_R = D * f_s = 0.05 \text{ m} \quad (Ec. 5)$$

El factor de seguridad seleccionado fue de 1.5, debido a las variaciones de presión que se puedan presentar. Para determinar la fuerza de retroceso se utiliza la ecuación 6:

$$F_R = \left(\frac{(D^2 - d^2) * \pi * P * R}{4} \right) \quad (Ec. 6)$$

$d =$ diametro del vástago

Por lo tanto, al establecer parámetros comerciales de actuadores neumáticos, se obtiene el valor del área anular A_{an} , con el cual se determina un valor para $d = 0.0248 \text{ m}$. Entonces, reemplazando los valores, se tiene una fuerza de retroceso como sigue:

$$F_R = 35.24 \text{ N}$$

3.3.2 Modelado flujo másico de aire.

De la fuerza de retroceso y los diámetros del vástago y cilindro encontrados, se debe determinar una ecuación que describa el comportamiento del flujo másico del aire en el interior del cilindro, para esto se ha seguido principalmente los lineamientos de Bansal [5]. El caudal de aire que fluye por un conducto evaluado en una posición determinada del mismo se define como lo muestra la ecuación 7 y 8:

$$Q_E = C_D A_{T1} \sqrt{\frac{2(P^0 - P_E)}{\rho_E}} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$Q_C = C_D A_{T2} \sqrt{\frac{2(P_C - P^C)}{\rho_C}} \quad (\text{Ec. 8})$$

C_D = coeficiente de descarga

A_{T1} y A_{T2} = área transversal al flujo de aire

P = presión de aire en el interior del cilindro

P_a = presión atmosférica

ρ = densidad del aire

E = propiedades del aire evaluadas en la entrada del sistema

C = propiedades del aire evaluadas en el interior del cilindro

H = altura o carrera del cilindro

Q = Caudal de aire

En el siguiente esquemático, se puede observar de manera gráfica los respectivos parámetros a tener en cuenta para el modelado del sistema neumático, acorde a las ecuaciones 7 y 8 anteriormente descritas.

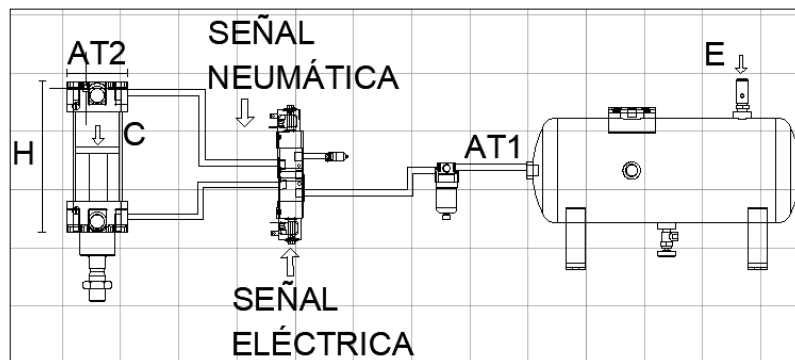


Figura 4. Parámetros para el modelamiento de flujo másico. Autores.

Considerando estado estacionario, se determina la presión estática. Debido a que la densidad del aire cambia con la temperatura, $\bar{\rho}$ representa el valor medio de la densidad. Para el aire en el exterior se considera una temperatura uniforme T_a . La diferencia de estas presiones estáticas permite determinar la fuerza de descenso, como se describe en la ecuación 9:

$$(P_a^0 - P_E) + (P_C - P_a^C) = gH(\rho - \bar{\rho}) \quad (Ec. 9)$$

Despejando de las ecuaciones (7) y (8) las respectivas diferencias de presión y sustituyéndolas en la ecuación (9), se obtiene la siguiente expresión en función de los caudales.

$$Q_E^2 \rho_E + Q_C^2 \rho_C = [C_D(A_{T2} - A_{T1})]^2 * 2gH(\rho - \bar{\rho}) \quad (Ec. 10)$$

Debido a que en el interior del cilindro existe un cambio de la densidad del aire con la posición, es adecuado tener en cuenta la ecuación de continuidad para el flujo másico, la cual se describe en la continuación:

$$\dot{m} = \rho_E Q_E = \rho_C Q_C \quad (Ec. 11)$$

Introduciendo la ecuación (11) en la (10), se obtiene finalmente la expresión para el flujo másico del aire en la ecuación 12.

$$\dot{m} = C (A_{D_{T2}} - A_{T1}) \sqrt{\frac{2gH\rho_E\rho_C(\rho - \bar{\rho})}{\rho}} \quad (Ec. 12)$$

En la ecuación 12, se ve claramente que la fuerza de descenso del aire depende con la raíz cuadrada del producto entre la altura del cilindro y la diferencia de densidad del aire en el interior y el exterior; y que el flujo que se obtiene es directamente proporcional al diámetro del cilindro; el coeficiente de descarga tiene valores cercanos a la unidad ya que será un material liso. En consecuencia, las variables de la ecuación son la altura, el diámetro del cilindro y la diferencia de densidad del aire entre el interior y el exterior, evaluados en el punto de descenso del cilindro.

El coeficiente de descarga C_D se asume con un valor de 0,9 para el sistema, asumiendo pérdidas mínimas por la tubería. Las áreas transversales A_{T1} y A_{T2} se calcularon con los valores obtenidos, el diámetro del vástago 0.0248 m y diámetro del cilindro 0.05 m respectivamente. La gravedad g es el valor de 9,81 m/s^2 . La densidad del aire evaluada a

la entrada del sistema ρ_E equivale a la densidad del aire a temperatura ambiente a 25°C ($1,293 \text{ Kg}/\text{m}^3$). Para la densidad del aire evaluada en el interior del cilindro ρ_C se estima un aumento de temperatura a 30°C con un valor de ($1,551 \text{ Kg}/\text{m}^3$).

Teniendo en cuenta la altura H o carrera del cilindro necesaria para el cálculo del flujo másico de aire, se determinó esta altura del diseño CAD realizado, contemplando las dimensiones de los moldes machos y hembras del sistema. Donde se tiene que la altura de vasos de 8oz que es de $9,5\text{cm}$ siendo este el más grande de los requeridos por la empresa y también el hecho de ser un sistema macho y hembra donde la cara inferior del molde hembra debe chocar con la cara superior del molde macho restándole el grosor de 5mm esta altura es multiplicada por dos, teniendo $18,5\text{cm}$, revisando los cilindros comerciales la carrera del cilindro que cumple con la necesidad es de 200 mm . De los parámetros descritos y reemplazando los valores, se obtiene el valor de \dot{m} como sigue:

$$\dot{m} = 0,00003961 \text{ Kg/mm}$$

Por tanto, se concluye en esta sección el flujo másico de aire que se requiere para un funcionamiento óptimo del sistema de accionamiento de la máquina. Para corroborar el diámetro requerido del émbolo para el sistema, se presenta la siguiente figura.

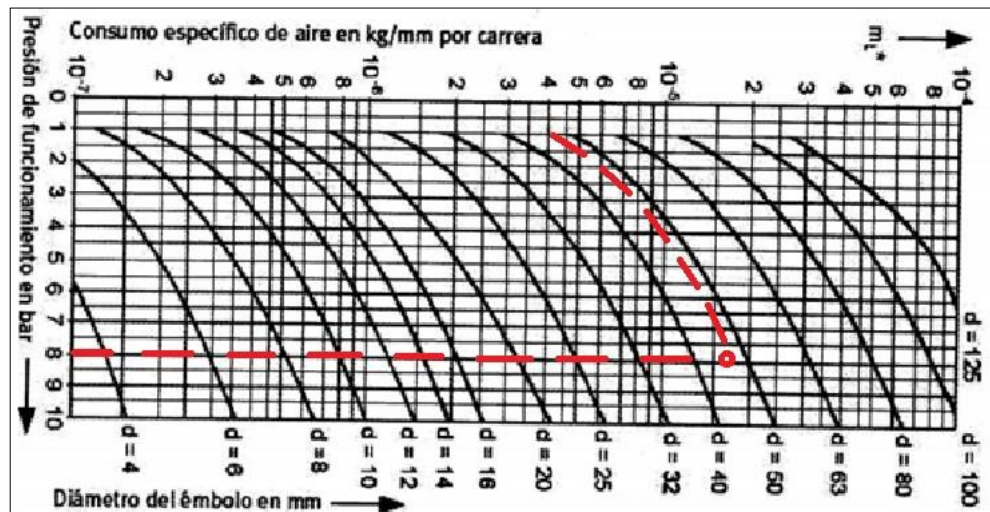


Figura 5. Consumo específico de aire por diámetro de émbolo. [6]

De la figura 5, se puede observar que para el valor de \dot{m} obtenido de la ecuación 12, se establece un valor de diámetro del émbolo del actuador de aproximadamente 50 mm , contemplando una presión de 8 bar , la cual es la presión máxima permisiva del actuador determinada anteriormente. Así pues, de los resultados obtenidos se establece el diámetro del actuador dado el modelamiento matemático del flujo másico del aire. Realizados los

análisis anteriores, se presenta en la siguiente figura el portafolio de actuadores comerciales que se pueden implementar para la realización del proyecto.











| | Tipo | Nº de art. | Conexión | Carrera [mm] |
|----------------------------------|---|------------|----------|--------------|
| <input type="radio"/> |  DSBC-32-200-PPSA-N3 | 1376474 | 1/8 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-32-200-PPVA-N3 | 1376429 | 1/8 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-40-200-PPSA-N3 | 1376910 | 1/4 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-40-200-PPVA-N3 | 1376663 | 1/4 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-50-200-PPSA-N3 | 1376310 | 1/4 | 200 |
| <input checked="" type="radio"/> |  DSBC-50-200-PPVA-N3 | 1366955 | 1/4 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-63-200-PPSA-N3 | 1383639 | 3/8 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-63-200-PPVA-N3 | 1383585 | 3/8 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-80-200-PPSA-N3 | 1383373 | 3/8 | 200 |
| <input type="radio"/> |  DSBC-80-200-PPVA-N3 | 1383340 | 3/8 | 200 |

Figura 6. Selección del actuador neumático. [7]

Se selecciona para el sistema de accionamiento neumático el cilindro de referencia DSBC-50-200-PPVA-N3, debido a su alta eficiencia de funcionamiento a un rango de presiones variables y a su amplia aplicación en la industria de carácter alimenticio. En cuanto al diámetro de conexión del actuador seleccionado, se seleccionó una conexión de 1/4", al igual que las conexiones para el compresor neumático y la válvula direccional descritos más adelante. El diámetro de conexión es de libre elección, donde se debe tener en cuenta que todos los componentes presenten el mismo diámetro. El diámetro del cilindro seleccionado es acorde al análisis realizado anteriormente en la ecuación 5 donde se obtuvo un valor aproximado de 50 mm al igual que en la figura 6.



Figura 7. Cilindro normalizado DSBC 50-200 seleccionado. [8]

Características:

- Carrera: 200 mm
- Diámetro del émbolo: 50 mm
- Presión de funcionamiento: 0,4...8 bar

- Modo de funcionamiento: de doble efecto
- Fuerza teórica con 8 bar de retroceso: 30,45 N
- Fuerza teórica con 8 bar de avance: 168,36 N
- Temperatura de trabajo: -20... 80°C

Se puede observar en la figura 7 las características presentadas por el cilindro neumático seleccionado con una fuerza de retroceso de 30,45 N; sin embargo, la calculada en los análisis realizados presenta un valor mayor de 35,24 N. Esta diferencia se debe a que en los cálculos realizados se asume la presión máxima que soporta el actuador que es de 8 bar; por tanto, el valor obtenido teóricamente fue mayor.

En cuanto a la fuerza experimental obtenida y la presentada en las características del actuador son similares, con 176,16 N y 168,36 N respectivamente.

- Selección de piezas y accesorios:

Realizada la fase de selección del cilindro, se debe añadir a esto la selección de los diferentes accesorios tales como válvulas, tubos, sistemas de roscado, entre otros. Como se puede ver en la figura 8.









| <input type="checkbox"/> | Tipo | Denominación | N° de art. |
|--------------------------|--|--|------------|
| <input type="checkbox"/> |  DSBC-50-200-PPVA-N3 | cilindro normalizado | 1366955 |
| <input type="checkbox"/> |  GRLA-1/4-QS-6-D | válvula de estrangulación y antirretorno | 193146 |
| <input type="checkbox"/> |  PUN-6X1-BL | tubo flexible de material sintético | 159664 |
| <input type="checkbox"/> |  QS-1/4-6 | racor rápido roscado | 153003 |
| <input type="checkbox"/> |  VUVS-L25-M52-MD-G14-F8-1C1 | electroválvula | 575511 |
| <input type="checkbox"/> |  U-1/4 | silenciador | 2316 |
| <input type="checkbox"/> |  QS-1/4-6 | racor rápido roscado | 153003 |
| <input type="checkbox"/> |  PUN-6X1-BL | tubo flexible de material sintético | 159664 |

Figura 8. Accesorios y componentes seleccionados del catálogo Festo. [7]

3.3.3 Descripción de los componentes neumáticos seleccionados.

Con los accesorios seleccionados de la revisión del catálogo Festo, se detallan algunas características los principales componentes seleccionados. Dadas las condiciones obtenidas de los cálculos realizados y la figura 8, todos los componentes seleccionados tuvieron un criterio de selección para soportar mínimo 8 bar de presión por el compresor neumático. Por otra parte, se seleccionó la válvula direccional, la cual estará controlada por el PLC del sistema. Algunas de las principales características son:

- Modelo: TG2521-08
- Tipo de válvula: 2 posiciones / 5 puertos
- Diámetro nominal (in): 1/4
- Medio aplicable: Aire
- Rango de presión aplicable: 0.15...8 bar
- Lubricación: innecesaria
- Tipo: Piloto Operado
- Forma de conexión: Brida
- Estructura de la válvula: Pilot Piston Structure
- Fuente de alimentación: 24 VDC



Figura 9. Electroválvula direccional 5/2 VUVS-L25. [8]

Otro accesorio relevante para la regulación de velocidad de salida del actuador neumático es un regulador de flujo unidireccional, esto para garantizar una salida suave del actuador, ya que el compresor neumático estará configurado a altas presiones, y así garantizar una ejecución en el embutido que permita obtener unos resultados aceptables del producto final. Con la válvula se puede influir sobre el caudal en un sentido mediante un punto de estrangulamiento regulable. En sentido contrario, la válvula de antirretorno elude la válvula reguladora de caudal. Esta, irá acoplada en la salida de la válvula direccional y podrá ser regulada manualmente por el operario.



Figura 10. Regulador de flujo unidireccional seleccionado. [8]

Algunas características del regulador se describen a continuación:

- Accionamiento: manual
- Válvula de antirretorno integrada
- Presión normal de funcionamiento: 6 bar
- Presión máxima admisible: 12 bar
- Boquillas de acoplamiento/zócalo de acoplamiento auto obturadores con fuga de aceite reducida

Por otro lado, se hace la consulta en distintos locales comerciales para la selección del compresor neumático, donde finalmente se propone la opción del compresor de referencia RC2 50 CM RED Nuair el cual presenta las siguientes características:

- Potencia (W): 1350
- Caldera (litros): 24
- Aire aspirado (lts/min): 175
- Voltaje / Hz: 110V/60Hz
- Lubricado: Si
- Cilindros: 2
- Presión Máxima (Bar): 8
- Peso (Kg): 20



Figura 11. Compresor neumático seleccionado. [8]

Por último, pero no menos importante, se seleccionaron algunos accesorios como el tubo flexible para conexión del circuito neumático de diámetro de ¼” y racores para la regulación de caudal a la salida de la válvula direccional.

3.3.4 Simulaciones de la fuerza obtenida a partir del actuador seleccionado.

Con las simulaciones de velocidad y presión promedio del actuador neumático y de la selección previa de los principales componentes neumáticos, se realizaron también las simulaciones de la fuerza obtenida de los parámetros del actuador tales como presión de funcionamiento, diámetro del cilindro, carrera del vástago, entre otros. Se realiza la simulación contemplando cada uno de los componentes neumáticos que se implementarán en el sistema. En primer lugar, se configura en el software de FLUIDSIM las características del actuador, como se muestra en la siguiente figura.

| Configure Cylinder | | | | |
|--|---------------------|---------------|--------------------------------|------------------|
| Configuration | Parameters | External load | Force profile | Actuating Labels |
| | max. Stroke | 200 | mm (1..5000) | ▼ |
| | Piston Position | 0 | mm (0..5000) | ▼ |
| | Piston diameter | 50 | mm (1..1000) | ▼ |
| | Piston rod diameter | 8 | mm (0..1000) | ▼ |
| | Mounting angle | 0 | Angular degrees (Deg) (0..360) | ▼ |
| | Internal leakage | 0 | l/(min*MPa) (0..100) | ▼ |
| Calculated parameters | | | | |
| | Piston Area | 19.63 | qcm | ▼ |
| | Ring Area | 19.13 | qcm | ▼ |
| Display Quantity | | | | |
| <input type="checkbox"/> Velocity [m/s] <input checked="" type="checkbox"/> Force [N] | | | | |

Figura 12. Configuración de parámetros del cilindro neumático. Autores.

Se observa el ingreso del diámetro y carrera del pistón, además del diámetro del vástago y la habilitación para que el software calcule la fuerza obtenida a la salida del cilindro según de la presión configurada en el compresor. A continuación, se muestra el montaje simulado con cada uno de los accesorios contemplados.

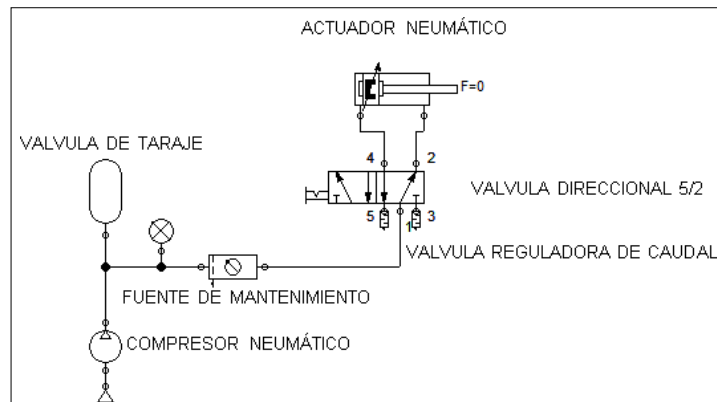


Figura 13. Simulación del sistema neumático en conjunto. Autores.

En la figura 13 se pueden observar cada uno de los componentes seleccionados y descritos en la sección anterior. Teniendo el circuito neumático diseñado, se realizan las respectivas simulaciones. La metodología fue la siguiente: se hacen cuatro distintas pruebas para determinar la fuerza de avance obtenida en el actuador según la modificación de taraje de la presión del compresor.

La fuerza obtenida fue calculada por el software según las configuraciones realizadas y los resultados obtenidos para diferentes presiones (5, 6, 7 y 8 bar) se tienen valores de fuerza para la salida del actuador. Para el caso de la presión simulada de 5 bares, se obtuvo una fuerza de 147,2 N; en el caso de 6 bares de presión se obtuvo un resultado de 156,4 N; para 7 bares de taraje una presión de 169,2 N y por último para una presión configurada de 8 bares, se obtuvo una fuerza de avance en el actuador de 174,2 N.

Los resultados obtenidos para el caso de las presiones simuladas fueron similares al valor de la fuerza obtenida de las pruebas experimentales, donde se obtuvo un valor de fuerza total de 176,16 N. Por otro lado, se obtuvo el diagrama simulado estado-fase de los actuadores tales como la electroválvula direccional y el actuador neumático.

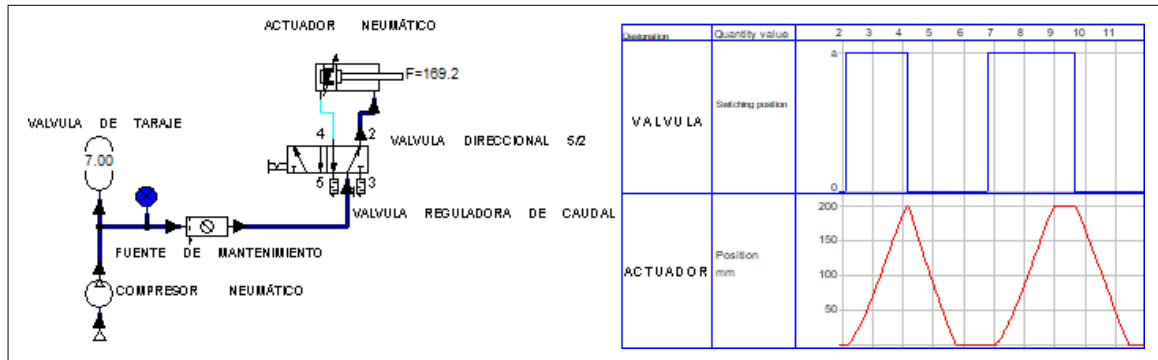


Figura 14. Diagrama estado-fase del sistema. Autores.

En la figura 14 se presenta el comportamiento gráfico de la válvula direccional del sistema la cual es un control On/off, que será gobernado por un pulsador del sistema de control de la máquina. La gráfica inferior, muestra el comportamiento del actuador según la condición que se de en la válvula direccional, ya sea para salida o retracción del pistón. El eje Y de la gráfica del actuador corresponde a la carrera configurada en el pistón, y el eje X presenta el tiempo de posicionamiento o salida del pistón. Así pues, Teniendo en cuenta la gráfica de posicionamiento del actuador, se establece un tiempo aproximado de 2 segundos.

3.4 Selección del controlador del sistema.

Teniendo ya realizado el diseño del sistema de accionamiento se procedió a realizar el diseño del sistema de control del sistema. Se realiza una investigación exhaustiva sobre los diferentes controladores mirando las diferentes variables y marcas comerciales actuales en el mercado, realizando un paralelo entre los distintos controladores viables y accesibles que se puedan implementar para la ejecución de la secuencia y elaboración de cada canastilla de patacón. Las variables tenidas en cuenta para la selección se resumen en la siguiente tabla QFD:

| Rating de relevancia | REQUERIMIENTOS FUNCIONALES MICROCONTROLADOR A IMPLEMENTAR | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | | | | | Comp | |
|-----------------------------------|--|------------------------|------------------------|---|----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|---------|--|
| | | ENTORNO DE APLICACIÓN | ESPACIO DE INSTALACIÓN | COMPLEJIDAD DE PROGRAMACIÓN Y DE COMUNICACIÓN | COSTO DE ADQUISICIÓN | VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN Y DE SALIDA | PROPIEDADES DE MEMORIA | LIMITACIONES DE POTENCIA | ADAPTABILIDAD AL PROYECTO | puntuacion ponderada | Ranking | |
| | | 1: bajo, 5: alto | | | | | | | | | | |
| 2 | PLC NIVEL INDUSTRIAL | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 1 | 52 | 4 | |
| 4 | RASPERRY | 9 | 3 | 3 | 3 | 9 | 3 | 3 | 3 | 144 | 2 | |
| 3 | SHIELD DE ARDUINO | 3 | 9 | 3 | 9 | 1 | 3 | 1 | 1 | 90 | 3 | |
| 5 | PLC FX1N 20 MR | 9 | 9 | 9 | 3 | 9 | 3 | 3 | 9 | 270 | 1 | |
| puntuación de importancia técnica | | 92 | 90 | 68 | 56 | 86 | 54 | 48 | 62 | 556 | | |
| Importancia % | | 17% | 16% | 12% | 10% | 15% | 10% | 9% | 11% | | | |
| Rango de prioridades | | 1 | 2 | 4 | 6 | 3 | 7 | 8 | 5 | | | |

Tabla 2. Análisis QFD para selección del controlador del sistema. Autores.

Teniendo en cuenta las variables contempladas para el sistema, se opta por el PLC FX1N 20MR, el cual además de presentar ventaja en las variables expuestas es usada principalmente en industrias y maquinarias para automatizar procesos de control, gracias a sus múltiples señales de entrada y salida, rangos de temperatura amplios, inmunidad al ruido eléctrico, y resistencia a la vibración y al impacto.

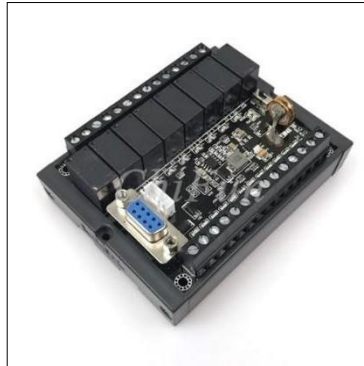


Figura 15. PLC FX1N-20MR seleccionado [9]

El PLC seleccionado cuenta con las siguientes características:

- Voltaje de trabajo: 24 VDC
- Rango de voltaje de alimentación: 10 a 28 VDC
- Tasa de baudios: 9600
- Programación de software: GX-Developer, GX-Works2.
- Entradas: 13 entradas digitales
- Salidas: 8 salidas digitales tipo relé
- Lenguaje de programación: Ladder

Otra de las ventajas que resalta este tipo de controladores es el rango de voltaje operacional que maneja, el cual es de 24V, lo cual permite tener un abanico más amplio de actuadores de nivel industrial, por tanto, permite seleccionar componentes que se detallan más adelante.

3.4.1 Programación del controlador.

Ya seleccionado el PLC para el sistema, se procede a realizar la lógica para la posterior programación del sistema. En primer lugar, se define las entradas y salidas del requeridas para el funcionamiento del sistema como se muestra a continuación:

| | NUMERACIÓN | EQUIVALENCIA |
|--------------------------------------|------------|---|
| E N T R A D A S | 1 | PULSADOR ON/OFF |
| | 2 | SENSOR INFERIOR BAN_0 |
| | 3 | SENSOR INFERIOR BAN_1 |
| | 4 | PULSADOR PARA SOLTAR BANDEJA INFERIOR |
| | 5 | PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA |
| | 6 | PULSADOR DE INICIO DE EMBUTIDO |
| | 7 | PULSADOR PARA SOLTAR BANDEJA SUPERIOR |
| | 8 | SENSOR SUPERIOR BAN_2 |
| | 9 | SENSOR DE PRESENCIA SUPERIOR |
| S A L I D A S | 10 | LED INDICADOR DE PROCESO |
| | 11 | LED INDICADOR DE ESPERA |
| | 12 | LED INDICADOR DE ASEGURAMIENTO EN BANDEJA INFERIOR |
| | 13 | LED INDICADOR DE ASEGURAMIENTO EN BANDEJA SUPERIOR |
| | 14 | SOLENOIDE DE SALIDA DEL PISTÓN PARA EMBUTIDO |
| | 15 | SOLENOIDE DE ENTRADA DEL PISTÓN |
| | 16 | ACTUADOR PARA SUJETAR LAS BANDEJAS INFERIORES |
| | 17 | ACTUADOR PARA SUJETAR LAS BANDEJAS SUPERIORES |

Tabla 3. Entradas y salidas del sistema de control. Autores.

De la tabla 3 se realiza de manera gráfica la máquina de estados para el funcionamiento secuencial que tendrá la máquina; donde se muestra el comportamiento de un sistema con entradas y salidas en donde las salidas dependen no solo de las señales de entradas actuales, sino también de las anteriores.

Para la realización de esta actividad, se enumeran tanto las entradas como salidas que estarán cableadas físicamente en el PLC; para el caso de las entradas, por ejemplo, los pulsadores, switches, sensores, etc. Y para el caso de las salidas, algunos ejemplos de actuadores como cilindros neumáticos, leds indicadores, alarmas, solenoides, entre otros.

Se observa en la tabla 3 las respectivas entradas y salidas del sistema y la numeración asignada. Dicha numeración se realiza para la comprensión de una mejor manera la máquina de estados realizada, la cual se expone en la figura 16, donde se pueden observar cada una de las transiciones y estados propios del sistema.

Es importante resaltar que en cada uno de los estados y solo en los diferentes estados, se encuentra la activación de las diferentes salidas acorde a la numeración asignada dadas las distintas condiciones que se cumplan. En las etapas de transición, la cual se encuentra indicada por las flechas, se permite el cambio de estado dada la activación de entradas del sistema, como los pulsadores y sensores que se dispusieron.

Dentro de cada estado, se encuentra el respectivo número de los actuadores que se encuentran activos y de igual manera en cada transición se especifica las entradas que se

deben activar para el cambio de estado. El funcionamiento secuencial de la máquina se describe a continuación:

- Inicialmente, la máquina se encuentra apagada, por lo tanto, el operario deberá pulsar el botón de encendido ON/OFF y deberá transcurrir un tiempo de 1 segundo para que así se activen las salidas 11 (led indicador de espera) y 15 (solenoides de entrada del pistón).
- Estando en el estado 1, el operario procederá a surtir los moldes hembras con la materia prima para proceder con el proceso de embutido. Se debe garantizar que el molde de bandejas hembras se encuentre en posición de embutido, por tanto, los finales de carrera 2 o 3 enviarán la información al PLC para saber si esta condición se cumple. Además, los moldes de las bandejas de los machos también deben estar posicionados correctamente para lo cual está el final de carrera 10. Por otro lado, se debe garantizar que la puerta superior de embutido de la máquina se encuentre cerrada para evitar posibles accidentes. Al cumplirse las condiciones descritas, se pasará al estado 2, donde se activarán 5 salidas, correspondientes a los números 11, 12, 13, 16, 17.
- Para la transición al estado 3, se debe activar el pulsador de inicio para el proceso de embutido, donde se procederá a moldear la materia prima surtida en la máquina. Al pulsar la entrada 6 y transcurrir un tiempo de 3 segundos, se activarán las salidas correspondientes a los números 10, 12, 13, 14, 16, 17.
- El tiempo de embutido, el cual es configurable por el operario, será la transición al estado 4, donde se habrá completado un ciclo de embutido y estarán activas las salidas 11, 12, 13, 15, 16, 17.
- Al culminarse la etapa de embutido, el operario tendrá que activar el pulsador 4 para soltar la bandeja de moldes hembras y permitir que el operario pueda extraer las canastas producidas. Allí se iniciará el estado 5, donde permanecerán activas las salidas 11, 13 y 17.
- Para pasar al estado 6, se debe iniciar otro proceso de embutido, donde el operario debe ubicar la bandeja de moldes hembras nuevamente en posición para iniciar otro ciclo de embutido. Los finales de carrera 2 o 3, serán los encargados de activar las salidas 11, 12, 13, 16, 17.
- Estando en el estado 6, lo que sigue será la misma secuencia planteada para el estado 3, donde nuevamente se activará el pulsador de inicio para empezar otro ciclo de embutido, y así sucesivamente para lo que sigue.
- Si se presenta una situación de emergencia o accidente, se debe activar el pulsador 5 para retornar nuevamente al estado 1.
- Si se desea cambiar el molde de bandejas machos, se debe activar el pulsador 7, para que se permita el cambio, mientras la secuencia permanecerá en el estado 1.

Para una mejor comprensión del funcionamiento secuencial de la máquina, se encontrará detalladamente explicado más adelante en la sección de anexos (ANEXO F) en el manual de usuario diseñado, donde se explica el paso a paso para el manejo y operación del prototipo.

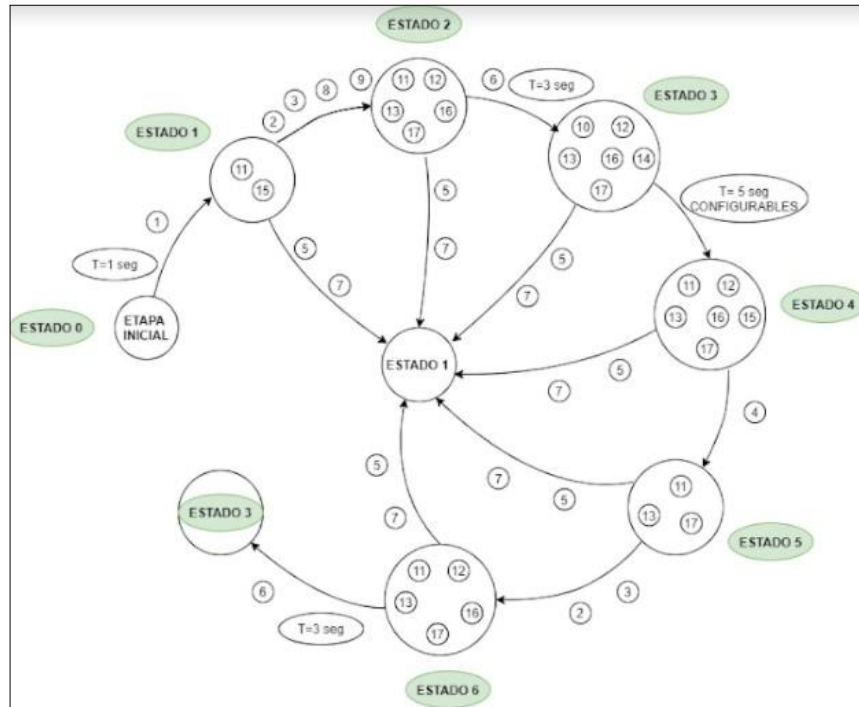


Figura 16. Máquina de estados del sistema. Autores.

Partiendo de la máquina de estados expuesta, se diseña y simula la programación del controlador en lenguaje Ladder en el software de programación GX Works2, propio de Mitsubishi para la simulación y puesta en marcha de los controladores. A continuación, se muestra el entorno de programación del software mencionado.

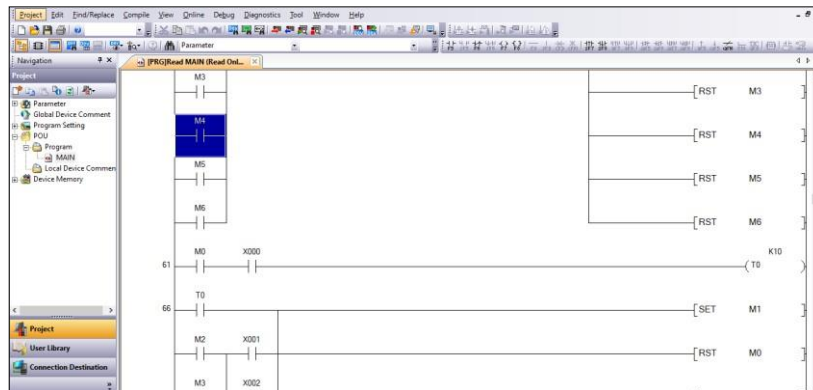


Figura 17. Entorno de programación del software GX-WORKS2. Autores.

Realizada la etapa de programación, se realiza la simulación de la lógica programada, para verificar el correcto funcionamiento del código. Gracias al entorno de programación del GX Works2, se procede a realizar la simulación ejecutada con éxito para la activación de cada una de las 8 salidas de la planta.

Se ejecuta la transferencia de datos para la simulación del sistema (para el caso de simulación física, la transferencia del programa al PLC se realiza por comunicación serial RS232) y por otra parte se realiza la monitorización de las variables en tiempo real para observar el estado de las entradas y salidas del sistema. En secciones posteriores, se presentará las respectivas evidencias fotográficas de las pruebas físicas realizadas con el controlador.

3.4.2 Selección de la pantalla de visualización y configuración del sistema.

Teniendo seleccionado el controlador y definido la programación del proceso como parte de los parámetros de diseño se tenía la creación de un HMI del sistema para la visualización de variables como por ejemplo el número de ciclos ejecutados durante un periodo de trabajo y el tiempo total de encendido de la máquina, se implementa la pantalla doble fila JLING para el PLC FX1N-20MR.

La pantalla de doble fila para PLC JLING es muy fácil de usar sin programación, es de uso directo, Tiene un total de dos modos: modo de parámetros principales y modo de parámetros de transmisión. El módulo está dividido en dos display de led.



Figura 18. Pantalla doble fila seleccionada. [9]

Características:

- Display: 2
- Tipo De Display: LED
- Compatibilidad: PLC FX1N-10MT FX1N-14MR.
- Modos de funcionamiento: 2
- Fila Única Y Doble Tamaño De Fila: 79*43
- Tipo de Paquete: SOP
- Temperatura de funcionamiento: 0-80°C
- Cáscara de color: Gris
- Tamaño De Apertura: 75*40

Se encontrará la configuración y especificaciones de cada uno de los comandos propios de la pantalla en el Manual de usuario.

3.5 Diseño del sistema de potencia.

Para los cálculos del sistema de potencia, se contempla cada uno de los componentes electrónicos de la planta descritos en la sección anterior. Se realiza la sumatoria de la potencia eléctrica [10], la corriente que consumirá cada componente y a partir del valor obtenido, realizar la búsqueda de valores comerciales de fuentes de alimentación en DC para implementarlo en la máquina. Para dicha sumatoria se presenta a continuación un esquemático de las respectivas conexiones físicas realizado en el software de AutoCAD.

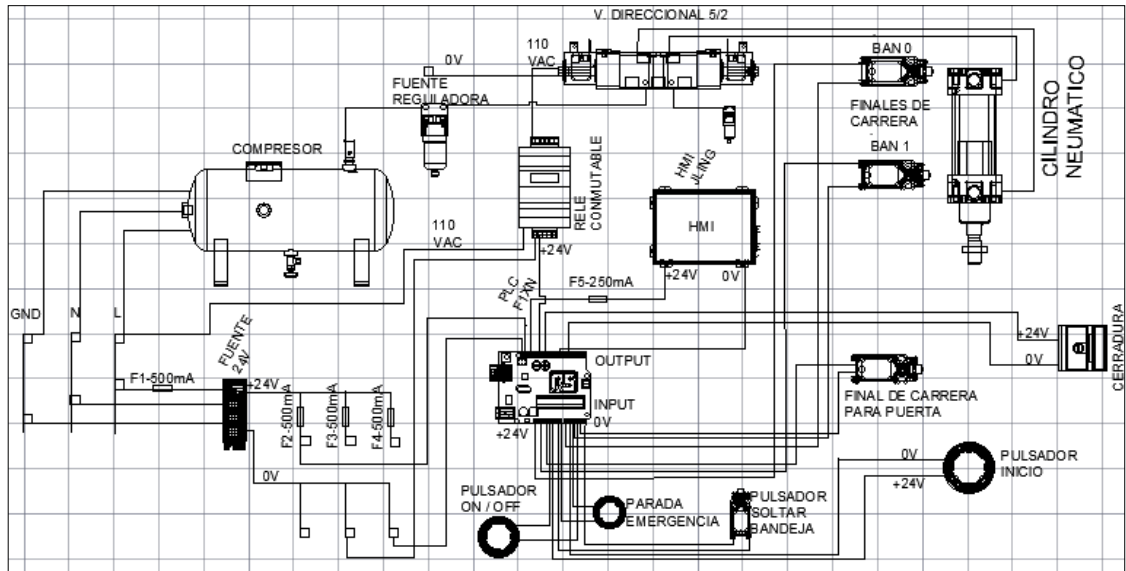


Figura 19. Componentes y conexiones del sistema. Autores.

Con el anterior esquemático se realiza la toma de datos teóricos obtenidos en los datasheet de cada uno de los componentes electrónicos, donde se recopilaron los datos de voltaje y corriente nominales para el cálculo y sumatoria de la potencia total requerida para la fuente de alimentación.

| COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL | | | | | |
|--|--|--------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| COMPONENTES PLC | | CLASIFICACION | CORRIENTE CONSUMIDA CIU (A) | VOLTAJE DE OPERACIÓN CIU (V) | POTENCIA TOTAL (W) |
| ENTRADAS | ON/OFF SOLTAR BANDEJA INFERIOR PARADA DE EMERGENCIA INICIO SOLTAR BANDEJA SUPERIOR | PULSADORES | 0,25 | 24 | 30 |
| | BAN0 BAN1 BAN2 SENSOR PRESENCIA SUPERIOR | FINALES DE CARRERA | 0,25 | 24 | 24 |
| SALIDAS | LED DE PROCESO LED DE ESPERA LED CERRADURA INFERIOR LED CERRADURA SUPERIOR | LEDS | 0,3 | 24 | 28,8 |
| | VALVULA DIRECCIONAL DE DOBLE SEÑAL DE CONTROL | SOLENOIDE | 0,3 | 24 | 14,4 |
| | ELECTROIMAN SUPERIOR ELECTROIMAN INFERIOR | VOLTAJE APLICADO | 0,33 | 24 | 15,84 |
| POTENCIA TOTAL REQUERIDA PARA LA FUENTE (W) | | | | | 113,04 |

Tabla 4. Cálculo de potencias nominales de cada componente. Autores.

Se realiza el cálculo de un consumo de potencia crítico, asumiendo que todas las entradas y salidas se encontrarían activas. La potencia total calculada para este caso fue de 113.04 W. Sin embargo, esta condición asumida no se cumplirá, ya que no todos los componentes del sistema estarán activos a la vez. Por tanto, se selecciona una fuente conmutable de 120 W, donde se describen las características a continuación:



Figura 20. Fuente de alimentación 24 VDC seleccionada. [9]

Características:

- Potencia de salida: 120W
- Rango de Voltajes y Frecuencias de Entrada: 85~264VAC/47~63Hz
- Corriente de entrada: 20A ~ 120VAC (arranque en frío)
- Voltaje de salida: 24 VDC
- Corriente de salida Máxima: 5 A
- Temperatura y humedad de Trabajo: -10°C ~ +50 °C, 20% ~ 95%RH (Sin - Condensación)

Para la realización de los planos de conexionado de control para el sistema electrónico, se hizo uso del software AutoCAD, el cual permite y facilita la comprensión y realización de planos de tipo eléctrico. Para detallar de una mejor manera los planos realizados, se adjuntan estos en la sección de anexos (ANEXO D) de este informe.

3.7 Normativa.

Ya teniendo todo el diseño eléctrico y neumático definido se debe revisar una restricción más antes de iniciar el análisis mecánico esto debido a que este proyecto se basa en el procesamiento de alimentos, se debe tener en cuenta la normativa vigente por parte del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) donde se destacan las siguientes resoluciones:

- Resolución 683 de 2012 Ministerio de Salud y Protección Social.

Por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para el consumo humano. [11]

- Resolución 2674 DE 2013.

Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto-ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones. El artículo 126 del Decreto-ley 019 de 2012, establece que los alimentos que se fabriquen envasen o importen para su comercialización en el territorio nacional, requerirán de notificación sanitaria, permiso sanitario o registro sanitario, según el riesgo de estos productos en salud pública. [12]

Revisando estas resoluciones se tiene información sobre los materiales que se deben usar para el desarrollo del procesador de alimentos.

3.8 Análisis estático de la estructura mecánica.

Para esta sección se debe tener en cuenta la normativa vigente para el procesamiento de alimentos dispuesta en el apartado anterior para realizar el correspondiente análisis estático y de resistencia de la estructura principal de la máquina, en la cual reposará el actuador que ejercerá una presión axial sobre la estructura base del sistema.

Para dicho análisis, se realiza la investigación sobre la relación tensión - deformación descritos por la Ley de Hooke, el cual un pilar básico del cálculo de estructuras [13]. Tal relación es característica del tipo de material, de tal forma que a las relaciones entre tensión

y deformación (bien en forma total o diferencial) se las denomina ecuaciones de comportamiento del material o ecuaciones constitutivas. Dichas ecuaciones deben cumplir una serie de relaciones termodinámicas y estar de acuerdo con los datos aportados por la experimentación, constituyendo en la actualidad un campo de trabajo de investigación muy importante. Entre las constantes que son de importancia fundamental en el análisis de la resistencia de materiales, se debe contemplar el módulo de Young (E). En la siguiente tabla puede verse el valor que toma para algunos materiales [14].

| | |
|----------|-----------------------|
| Acero | $E = 210 \text{ GPa}$ |
| Hormigón | $E = 30 \text{ GPa}$ |
| Aluminio | $E = 70 \text{ GPa}$ |
| Vidrio | $E = 66 \text{ GPa}$ |
| Bronce | $E = 106 \text{ GPa}$ |
| Latón | $E = 92 \text{ GPa}$ |

Tabla 5. Módulo de Young para materiales comunes.[14]

En este caso, el material implementado para la estructura mecánica principal es de acero inoxidable 304, debido a que la materia prima es de carácter alimenticio; por tanto, el módulo de Young corresponde a 210 GPa para el caso del acero. Uno de los puntos críticos a analizar es la sección donde estará empotrado el actuador neumático con la estructura mecánica, ya que se presentará una fuerza de flexión en el ángulo de travesaño base, como se muestra a continuación:



Figura 22. Acoplamiento de actuador en la estructura base del sistema. Autores.

Teniendo en cuenta la literatura consultada se definen las expresiones para el cálculo de variables tales como la deflexión que presentara el material seleccionado (Acero inoxidable 304) dada la presión o fuerza ejercida por el actuador neumático. A continuación, se presentan las respectivas ecuaciones tenidas en cuenta para determinar cómo afecta la

presión ejercida por el actuador en la estructura mecánica y de allí partir a la elección de parámetros comerciales de ángulo en acero inoxidable actualmente en el mercado. [13]

Para el cálculo de la tensión de Von Mises, la cual puede calcularse fácilmente de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, se tiene la expresión escrita en la ecuación 13:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}{2}} \quad (Ec. 13)$$

Siendo ε_1 , ε_2 , ε_3 las tensiones principales, las cuales se obtienen de las propiedades del material y el punto en el cuál actúa la fuerza aplicada. Para el cálculo de la tensión de Von Mises en una viga empotrada en sus dos extremos, las tensiones principales se calculan por las tablas establecidas para cada tipo de material [15]. Reemplazando en la literatura consultada para la determinación de las tensiones principales de la estructura dispuesta en el ANEXO G, se tiene que:

$$\sigma_{VM} = 1,2085 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Del análisis realizado se diseña el correspondiente CAD de dicha estructura mecánica, donde se asigna el respectivo tipo de material, con sus propiedades físicas. Por consiguiente, se hace la simulación en el software SolidWorks, obteniendo los resultados a continuación:

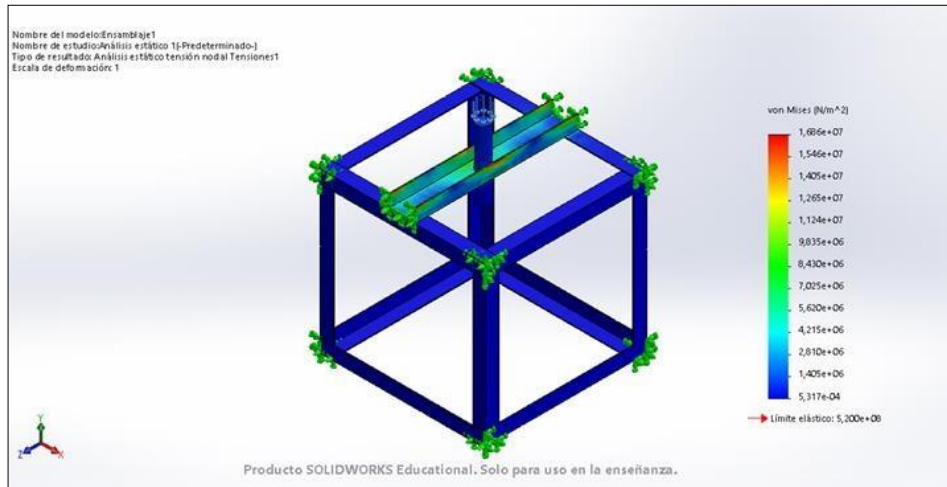


Figura 23. Resultados obtenidos del análisis de tensión Von Mises. Autores.

Se observa en los resultados obtenidos de la tensión de Vonn Mises, donde se presenta la escala de colores que indican la intensidad de la flexión en el material dada la fuerza aplicada por el actuador sobre la estructura base la cual se calcula en secciones anteriores y fue de 176,16 N. El valor de la tensión de Vonn Mises obtenido teóricamente fue de $1,2085 * 10^6 \frac{N}{m^2}$. Por otra parte, los resultados de la simulación indicaron un rango de factor de $5,317 * 10^{-4} - 1,686 * 10^7 \frac{N}{m^2}$ el cual es adecuado para la aplicabilidad dadas las propiedades del material seleccionado, observando de igual manera la escala de colores presenta un valor máximo de $1,686 * 10^7 \frac{N}{m^2}$ en los puntos críticos donde actúa la fuerza. Según la figura 23 y observando la escala de colores, la estructura presentaría una deformación mayor en el punto en el cual actúa el cilindro neumático y los puntos en los cuales se encuentra empotrado el travesaño en el cuál va adaptado el actuador. Sin embargo, esta flexión es mínima para la escala de color obtenida.

Por otra parte, es importante también tener en cuenta el análisis del factor de seguridad para la estructura, el cual es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos. Así pues, el factor de seguridad de un sistema viene dado por la expresión:

$$n_s = \frac{\sigma_{VM}}{\sigma_d} \quad (Ec. 14)$$

Si $n_s > 1$ el diseño es adecuado. Entre mayor sea n_s más seguro será el diseño. Entonces, el esfuerzo normal de diseño σ_d viene dado por la fuerza teórica necesaria para el actuador neumático calculada en secciones anteriores dividido en el área en la cual se aplica la fuerza. Siendo así entonces $\sigma_d = 0,265 * \frac{N}{m^2}$.

Y, por ende, reemplazando los valores de la ecuación 14, se tiene que $n_s = 4,561 * 10^6$. De igual manera, se realiza la simulación de dicho factor para proceder a la verificación de los requerimientos establecidos para la estructura.

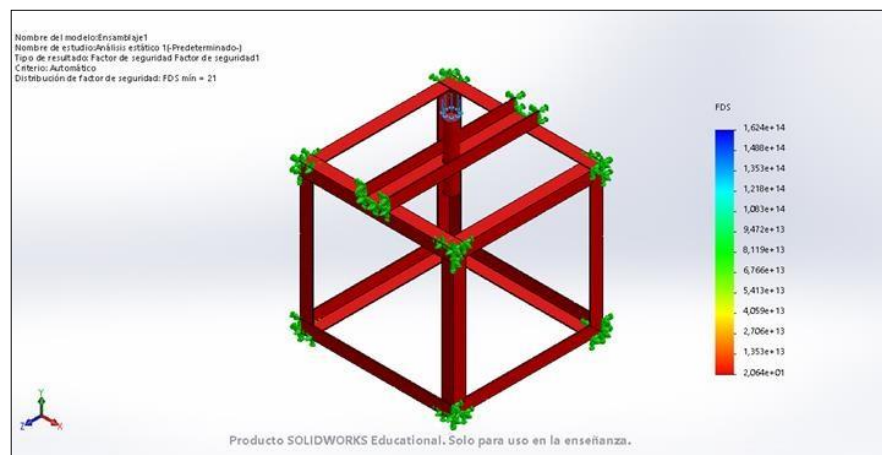


Figura 24. Resultados obtenidos del cálculo de factor de resistencia. Autores.

Se obtuvo un factor de seguridad de $4,561 * 10^6$, el cual es un valor más que suficiente para que soporte las condiciones a la cual será sometido el material sin sufrir afectaciones por flexión. Es por estas razones que se seleccionaron las dimensiones preliminares de calibre del material para implementarlas en la estructura. En secciones posteriores se presentará las evidencias en la etapa de construcción llevada a cabo.

De los cálculos realizados se procede a la selección de un calibre de acero inoxidable 304 de valor comercial para así mismo realizar la respectiva simulación y verificación del calibre más adecuado que supla las condiciones de flexión a las cuales será expuesto. Como una opción de calibre, se elige ángulo en acero inoxidable de dimensiones: $1 \frac{1}{2}$ " de ancho X $\frac{3}{8}$ " de espesor.



Figura 25. Ángulo acero AISI 304 seleccionado. [16]

3.8.1 Características del acero inoxidable 304.

Teniendo en cuenta la sección expuesta, se realiza el ensamble de la estructura mecánica y algunos componentes importantes tales como el sistema de bandejas y moldes en acero inoxidable 304; Según las recomendaciones para el mecanizado del mismo. Dichas recomendaciones se encuentran en los anexos de este informe; además de la ficha técnica del acero inoxidable 304 [17]. A continuación, algunas de las ventajas y características propias del material seleccionado.

- Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos, principalmente para las industrias procesadoras de alimentos.
- Acero inoxidable 304 es austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión.
- No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no se temple, ni es magnético.
- Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo, doblado, cilindrado, embutido profundo)

3.9 Diseño CAD final.

Teniendo en cuenta cada uno de los cálculos realizados, se presenta a continuación el diseño finalizado en su totalidad, detallando parámetros como cotas y dimensiones propios de la máquina para proceder a la etapa de construcción. Las dimensiones exteriores del prototipo fueron acotadas de acuerdo con el diseño de los moldes para el embutido del producto.

- Para el caso del ancho de la estructura, el cual es de 40 cm, se realiza teniendo en cuenta los requerimientos dados por el cliente para la fabricación de los patacones planos, los cuales deben tener un diámetro de aproximadamente 10 cm y contemplando el nivel de producción, se deben producir dos patacones planos por cada ciclo de proceso. Por tanto, el molde debe tener mínimo dimensiones de 20 x

20 cm además de un espacio adicional para asegurarlos al sistema de rieles y bandejas inferiores.

- Para el caso de la altura de la estructura, la cual es de 45 cm, se realiza según los requerimientos dados por el cliente para la fabricación de las canastas de patacón, las cuales deben ser de un contenido de 6 Oz. De acuerdo con las cotas comerciales de los vasos de esta capacidad, presentan una altura de 8 cm, además se debe sumar también la altura de los moldes inferiores que es de 8.5 cm, la altura del sistema de rieles inferior y superior, entre otros. De allí, se selecciona la carrera del actuador neumático la cual es de 20 cm.

Ya que para el caso de los patacones planos se tendría que disponer un mayor espacio de embutido con respecto a la fabricación de las canastas de patacón, la capacidad de producción de la máquina será de 2 patacones planos por ciclo y 4 canastas de patacones Por ciclo. En los anexos dispuestos en este informe (ANEXO B), se encuentran los planos acotados de la estructura y los moldes del sistema de embutido.

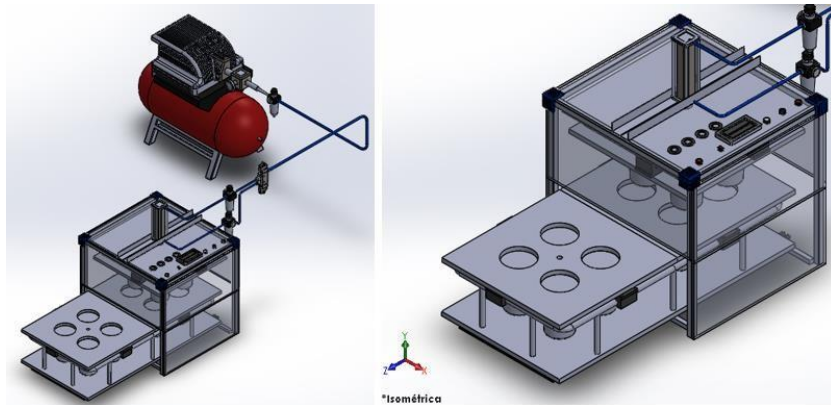


Figura 26. Diseño CAD final de la máquina. Autores.

3.9.1 Descripción de componentes.

Realizado el diseño CAD final del prototipo, se realiza la descripción de cada uno de los componentes de la máquina, donde se muestra cada uno de los accesorios implementados, su ubicación en cada subsistema y la descripción de cada componente.

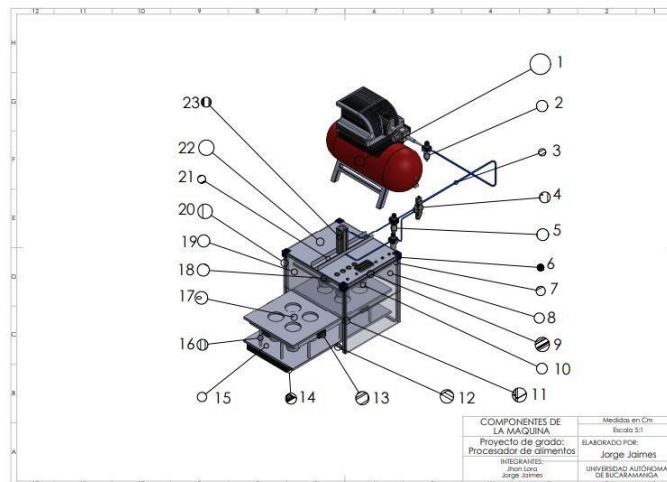


Figura 27. Componentes de la máquina. Autores.

| NUMERO DEL ELEMENTO | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---------------------|--|----------|
| 1 | COMPRESOR NEUMÁTICO | 1 |
| 2 | VALVULA REGULADORA DE CAUDAL | 1 |
| 3 | MANGUERA NEUMATICA 1/4" | 10 (m) |
| 4 | VALVULA DIRECCIONAL 5/2 | 1 |
| 5 | UNIDAD DE MANTENIMIENTO NEUMATICA | 1 |
| 6 | ESQUINERAS PLASTICAS | 4 |
| 7 | SENSOR FINAL DE CARRERA | 1 |
| 8 | PUERTA SUPERIOR | 1 |
| 9 | CERRADURA SUPERIOR | 1 |
| 10 | MOLDES MACHOS DE EMBUTIDO | 1 |
| 11 | BISAGRA PUERTA SUPERIOR | 1 |
| 12 | SENSORES FINALES DE CARRERA INFERIOR | 2 |
| 13 | SISTEMA DE BLOQUEO BANDEJAS INFERIORES | 4 |
| 14 | RIELES DE MOVIMIENTO INFERIOR | 2 |
| 15 | BANDEJA BASE PARA MOLDES HEMBRAS | 1 |
| 16 | SOPORTE PARA MOLDES HEMBRAS | 8 |
| 17 | MOLDES HEMBRAS DE EMBUTIDO | 2 |
| 18 | SISTEMA DE BLOQUEO BANDEJAS SUPERIORES | 4 |
| 19 | TAPAS METALICAS LATERALES | 2 |
| 20 | ESTRUCTURA BASE INOX | 1 |
| 21 | SOPORTE ACTUADOR NEUMATICO | 2 |
| 22 | TAPA METALICA SUPERIOR | 1 |
| 23 | ACTUADOR NEUMATICO | 1 |

Figura 28. Descripción de los componentes enumerados. Autores.

3.9.2 Sistema de control.

Por otra parte, también se realiza la tabla de convenciones para los componentes de los mandos y pulsadores de la máquina, donde se tiene el tablero de control del prototipo a partir de los requerimientos del operario. El sistema cuenta con leds indicadores para cada etapa de la secuencia programada, pulsadores para ejecutar ciclos de embutido, parada de emergencia, botón de encendido e inicio. Además, la pantalla doble fila, la cual permitirá la configuración para los tiempos de embutido para cada proceso.

| | |
|----|---|
| 1 | Luz led indicadora de proceso de embutido |
| 2 | Luz led indicadora de fijación de la bandeja superior |
| 3 | Luz led indicadora de fijación de la bandeja inferior |
| 4 | Luz led indicadora de espera para el inicio de ciclo |
| 5 | Pulsador parada de emergencia |
| 6 | Switich ON/OFF |
| 7 | Pantalla led doble fila |
| 8 | Pulsador para proceso de embutido |
| 9 | Pulsador para permitir movimiento horizontal de los moldes superiores |
| 10 | Pulsador para permitir movimiento horizontal de los moldes superiores |

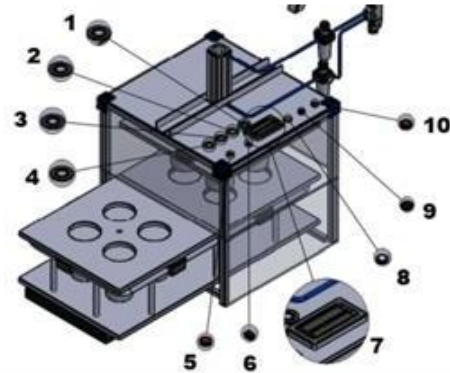


Figura 29. Convenciones del tablero de control del prototipo. Autores.

3.9.3 Sistema de embutido.

Entre los componentes del sistema se encuentra también el sistema de embutido que permitirá la fabricación del producto final. Se puede observar en el diseño planteado el sistema de embutido, el cual está conformado por los moldes superior e inferior, los cuales se encuentran alojados en la cabina de embutido como se puede observar en la siguiente figura.

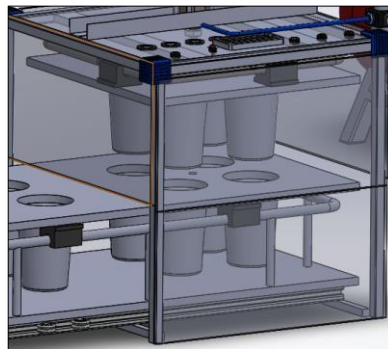


Figura 30. Sistema de embutido de la máquina. Autores.

En la figura 30 se observa la ubicación de los moldes machos en la parte superior de la cabina de embutido y en la parte inferior los moldes hembras, en los cuales se surtirá la materia prima para el proceso de embutido.

3.9.4 Sistema de riel y bandejas inferior.

Para el tema de los moldes hembra se dispone de dos estados donde se tiene una bandeja en proceso de embutido, mientras al costado se encuentra otra bandeja que estará para los procesos de suministro y retiro del producto final, el sistema de riel y bandejas permitirá el movimiento horizontal de los moldes hembras.

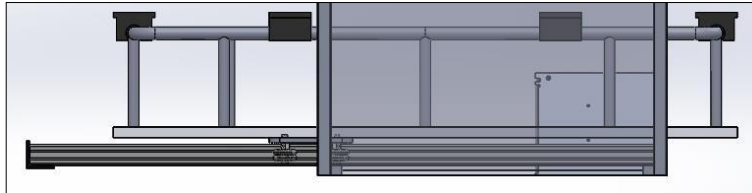


Figura 31. Sistema de riel y bandejas inferiores. Autores.

Se observa la ubicación física del sistema mencionado, la cual consta del riel y la bandeja en las cuales se acoplarán los moldes que se requieran para el embutido. Cabe resaltar que los moldes serán intercambiables para la fabricación de las canastas y de los patacones planos.

3.9.5 Sistema de riel y bandejas superior.

Como se menciona, debido a que los moldes son intercambiables, se diseña un sistema de riel tipo cajón en la parte superior de la cabina para el intercambio de moldes macho para el sistema de embutido, en donde se permitirá extraer con facilidad y agilizar el proceso de intercambio de moldes en caso de ser necesario. Este riel estará acoplado al actuador neumático, el cual es el que permite el movimiento vertical de los moldes para el embutido.

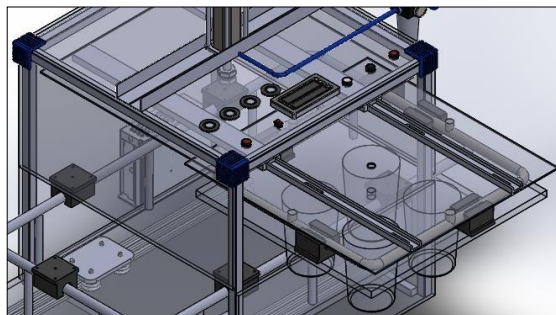


Figura 32. Sistema de riel superior. Autores.

4 CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA PATACONERA

Teniendo ya desarrollado la etapa de diseño de la maquina se procede a realizar la construcción y automatización. En este capítulo se describirá cada una de las etapas llevadas a cabo para las fases de construcción y automatización de la máquina, explicando los procesos y trabajos llevados a cabo que permitieron culminar esta fase y dar paso a las pruebas de validación y funcionamiento del sistema.

4.1 Etapa de construcción mecánica.

En esta etapa, la cual es una de las más importantes de todo el proceso del proyecto, se realizaron diversos procesos de manufactura implementados, los cuales presentaron un orden para la correcta construcción del prototipo. Debido a la orientación de la máquina diseñada, la cual estará enfocada en el embutido de alimentos, se requiere que los componentes que vayan a tener contacto con la materia prima sean de material antiadherente. Dada esta situación, más del 70% de la estructura física del sistema estará construida en acero inoxidable 304 y polietileno de ultra alto peso molecular; por tanto, se requiere el debido proceso de manufactura a cada tipo de material. [17]

En primer lugar, se lleva a cabo la construcción de la estructura mecánica principal, la cual presenta una geometría de cubo. Dicha estructura se construye en lámina de acero inoxidable en ángulo de ancho y largo de 1" y grosor de $\frac{1}{4}$ ". Los procesos realizados para la construcción de esta pieza principal se resumen en el siguiente paso a paso:

- Corte del material: Para esta fase inicial se realiza el acotamiento preciso de cada sección de ángulo, donde se prosigue con el corte de este con pulidora.
- Soldadura del material: Luego de la fase de corte, se procede a la unión de las diferentes piezas por medio de soldadura propia para acero inoxidable, el cual se tiene que soldar con tiras de acero inoxidable. Se implementa la metodología de la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW). En esta etapa es de mucha importancia tener en cuenta la máxima precisión posible en la unión de las piezas, para que a futuro no se presente problemas por piezas torcidas o similares.
- Limpieza de viruta: terminada la fase de soldadura, suele quedar la pieza impregnada de viruta y desechos propios de la soldadura implementada. Debido a esto, se realiza la limpieza de este material, donde existen distintas opciones. La opción implementada fue la de lavar la viruta utilizando una tina o un tambo con agua y una especie de red de malla de metal muy fina, para así quitar la viruta e ir dando brillo propio al material.

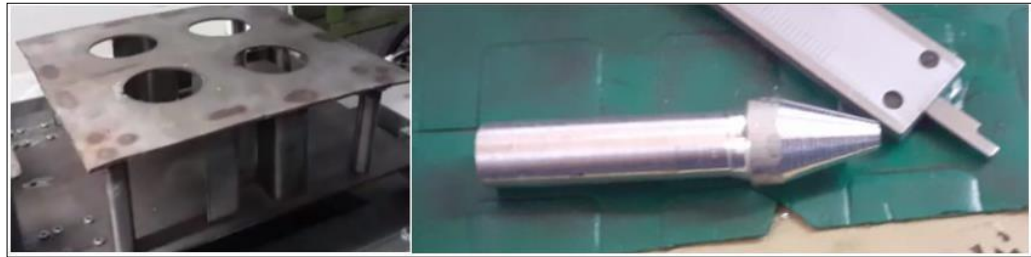


Figura 33. Corte y mecanizado del material. Autores.

Otra de las etapas llevadas a cabo fue el ensamble del sistema de rieles inferior, el cual permitirá el movimiento de los moldes hembras para el embutido. Para este caso se implementa como pasador varilla lisa de acero inoxidable de 12mm de diámetro. El riel, por ende, también debe ser de 12 mm de diámetro para que se permita movimiento libre. La varilla fue empotrada en ambos extremos con dos soportes atornillables y fijos en la estructura cubica.

En este sistema de rieles, se debe asegurar la plataforma en la cual se asegurarán los moldes hembras. Dicha plataforma se selecciona en lámina de acero inoxidable 304 calibre 14, la cual tuvo que ser operada con fresadora para hacer las perforaciones que permitan que estas se atornillen a los rieles.



Figura 34. Sistema de rieles. Autores.

Después de la etapa anterior, se procede a la elaboración de los moldes hembras que estarán sujetos a la plataforma descrita. Para la elaboración de los moldes hembras, se parte de los requerimientos del cliente, donde solicita la elaboración de canastas de 6 y 8 oz de contenido y un grosor de pared de 5mm de canasta, además de que la geometría de la canasta debe ser de tipo cono truncado. Sabiendo esto, resulta muy complejo realizar el proceso de manufactura de dicha pieza, ya que se requiere una gran precisión para someter al torno la pieza, además de que se desperdicia demasiado material que por cierto no es económico. Dado esto se busca una solución alternativa más viable que consta de la compra de los respectivos tamaños de vasos comerciales en acero inoxidable para soldarlos a un lamina base de acero inoxidable donde se puedan unir los cuatro vasos.

La lamina base, fue sometida a los procesos de corte, torneado y soldadura para la unión con los vasos de 8 y 6 onzas respectivamente. Cabe recordar, que se dispuso de doble moldes hembras para la fase de embutido, lo que significa un total de 8 moldes tanto para la fabricación de canastas de 6 y 8 oz.



Figura 35. Moldes hembras. Autores.

Para el mecanizado de los moldes machos del sistema embutido, se selecciona como material de mecanizado el polietileno de alta densidad por diversas ventajas con respecto al acero inoxidable 304, como fácil procesamiento y mecanizado, lo cual agiliza los procesos de manufactura realizados en el material. Además, Ideal para procesos de Termoformado, soportando temperaturas de trabajo de hasta 80 °C.



Figura 36. Mecanizado y montaje de moldes machos. Autores.

Para el ensamble de la sección superior de la máquina que tiene que ver con los moldes machos y el mecanismo de agarre y fijación, se realiza en primera instancia el corte y la perforación de una bandeja de agarre para que se pueda asegurar en el actuador neumático por medio de un tornillo pasante asegurado con tuerca. Luego de esto, debido al espacio limitado en la cabina de embutido, se idea la forma para cambiar los moldes machos por medio de un riel tipo cajón, la cual debe ser asegurada tanto en la bandeja anteriormente descrita como en los moldes que se van a trabajar en determinado proceso de embutido. Para asegurar los rieles tipo cajón se hizo uso de tornillos contra la bandeja superior y la bandeja de moldes machos.



Figura 37. Ensamble parcial de la máquina. Autores.

Como se mencionó anteriormente, ya que los moldes de la máquina para la elaboración de distintas geometrías y tamaños de patacón, se requiere que los moldes de embutido sean ajustables e intercambiables. Por tal motivo, se diseña una puerta superior para el molde macho de embutido, lo cual permitirá realizar con facilidad este cambio de moldes acorde a la necesidad del operario y de igual manera, aislar el sistema de embutido de presencias ajenas al sistema de embutido de la máquina.



Figura 38. Puerta superior de seguridad. Autores.

4.1.1 Consideraciones para el funcionamiento de la máquina.

Entre los diversos aspectos que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento de la maquina luego de la fase de construcción se tienen como principales los siguientes:

- Compresor neumático:

Entre los aspectos a tener en cuenta en la etapa de construcción se tiene el sistema integrado de compresión representa la fuente de alimentación para el sistema neumático de la planta. Según las características del compresor descritas anteriormente, deberá suplir una presión mínima de 7 bares para el correcto

funcionamiento de la planta, además de suministrar un flujo másico de aire constante para el correcto funcionamiento del sistema de embutido de la planta.

- Actuador y sistema neumático:

El sistema neumático es de los más importantes para la ejecución del proceso por ello se debe tener en cuenta la conexión del cilindro con el compresor neumático que se selecciona, las boquillas para la conexión tanto del compresor como del cilindro son de $\frac{1}{4}$ " de los cuales es necesario usar racores rápidos para evitar fugas. Se debe analizar también el evento crítico que se podría presentar como lo es la sobre presión del compresor por encima de la presión calculada para el funcionamiento normal del sistema, por tanto, no es recomendable tarar la válvula del compresor a una presión mayor.

- Bandejas y rieles de transporte:

El mecanismo de riel implementado permitirá el movimiento de las bandejas de embutido en el sistema por lo tanto también es parte esencial del proceso. Para su correcto funcionamiento, se debe garantizar una fricción mínima para el movimiento, tanto para evitar desgaste como para facilitar la manipulación del operario. Es importante también tener en cuenta el diámetro del pasador para el riel, ya que como estará expuesto a la presión del sistema de prensado, este puede presentar flexión.

4.2 Etapa de construcción eléctrica.

Para la etapa de conexiones de todo el sistema electrónico, se realiza el cableado de entradas y salidas del sistema, sin realizar el montaje de los componentes. Esto, con objetivo de verificar el correcto funcionamiento de la lógica programada y en caso de fallas en la conexión, poder realizar la corrección de una manera más rápida y eficaz.

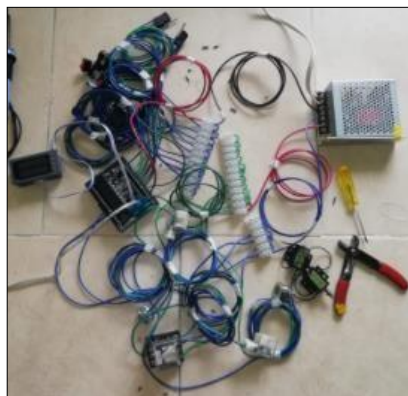


Figura 39. Cableado preliminar del sistema electrónico. Autores.

Realizada la fase de pruebas en conjunto, se hizo el ajuste y la fijación de los componentes en una caja aislada, para evitar accidentes como cortocircuitos y deterioro gradual de los principales componentes como PLC, fuente, relé y válvula direccional del sistema.

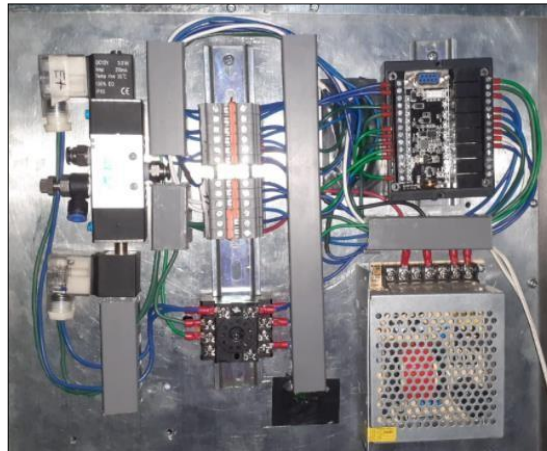


Figura 40. Montaje de componentes electrónicos. Autores.

4.3 Evaluación y diagnóstico de posibles averías en el ensamble mecánico

De la fase de construcción y ensamblaje mecánico llevado a cabo, se destacan algunas consideraciones importantes a tener en cuenta llegado el caso de presentarse determinada falla en los subsistemas de la planta. Dichas fallas se describen a continuación junto con la solución planteada para el correcto funcionamiento.

- Desgaste en el riel de intercambio de bandejas:

Ya que el sistema cuenta con un mecanismo de riel tipo cajón para el intercambio de moldes machos, dicho mecanismo también podría generar dificultad o trabamiento en el momento que se desee cambiar el molde. Esto, debido a la presión a la cual estará sometido al igual que en el caso anterior al actuador neumático.

Solución: Dada la situación descrita, se requiere el estudio de resistencia de materiales para la implementación del mecanismo, en el cual se pudo obtener la selección de un riel con parámetros comerciales. Este riel seleccionado cuenta con un sistema de rodamientos en su interior que permiten un movimiento suave de fricción mínima.

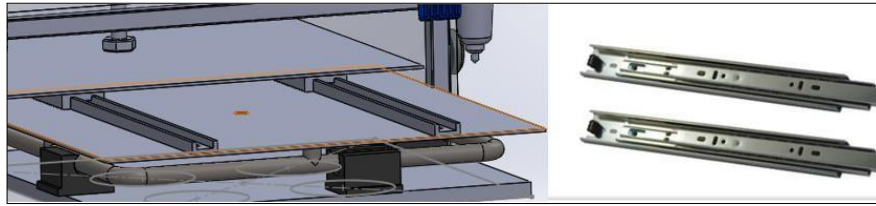


Figura 41. Mecanismo usado en cambio de moldes superiores. Autores.

- Fugas en el sistema neumático:

Ya que para el sistema neumático requerido para el proceso de embutido se requiere una presión aproximadamente de 7 a 8 bar (a partir de los cálculos y análisis realizados), se pueden presentar fugas en los empaques o terminales de cada componente neumático, tales como válvulas reguladoras, válvulas direccionales, actuador neumático, incluso en el compresor.

Solución: Para evitar este inconveniente, se tuvo que realizar diferentes pruebas con un compresor, el cual fue tarado a distintas presiones, desde una presión de 5 bar, hasta la máxima presión (8 bar); para así verificar experimentalmente si en las conexiones neumáticas se presentan dichas fugas. Los resultados presentaron fuga cuando el compresor está en su máxima presión, por tanto, no es recomendable tanto por fugas como para protección e integridad del operario.

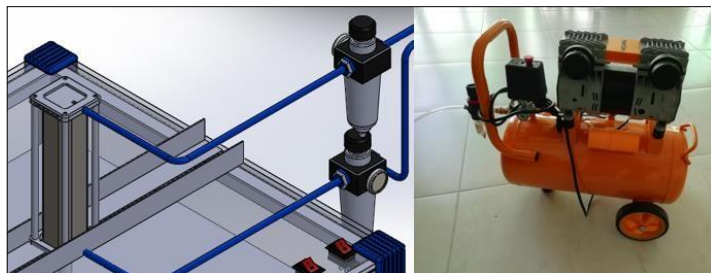


Figura 42. fuente de alimentación neumática. Autores.

4.4 Ensamblaje total del sistema.

Se lleva a cabo el ensamble de todos y cada uno de los subcomponentes del sistema propios de la máquina, donde se realiza el conexionado del panel electrónico y de control del sistema, instalación de pulsadores y leds del sistema, pantalla HMI de configuración para los tiempos de prensado, subcomponentes del sistema neumático, entre otros. A continuación, se presentan las evidencias de la construcción llevada a cabo para el sistema en conjunto.



Figura 43. Vista exterior de la máquina. Autores.

Se puede observar la instalación del panel de control en la parte trasera de la máquina, esto con objetivo de aislar la parte electrónica y de potencia de la parte neumática y así facilitar futuros mantenimientos que se requieran en el sistema en general.



Figura 44. Sistema de bandejas inferiores. Autores.

En la figura se muestra el ensamble realizado para el sistema de bandejas de la máquina. Ya que los moldes de las bandejas superior e inferior son intercambiables, se realiza un sistema para asegurar las bandejas que consta de un resorte con un tornillo pasante para que los moldes queden fijos en la bandeja superior e inferior.



Figura 45. Controles de mando del sistema. Autores.

Se muestra el tablero en el cual el operario interactuará con la máquina, donde se instalaron leds de visualización para verificar el cumplimiento de algunas condiciones como por ejemplo la apertura de la puerta o la correcta ubicación de los moldes de embutido superiores del sistema. Se cuenta también con un led indicativo de proceso, ya sea de espera o de embutido, con el cual el operario podrá saber en qué etapa se encontrará la máquina operando. Se pueden observar además los respectivos pulsadores y la pantalla de configuraciones de tiempo de embutido.

5 VALIDACIÓN DE LA MÁQUINA PATACONERA.

Culminada la fase de construcción se presentarán las evidencias de las respectivas pruebas realizadas antes, durante y después de esta etapa de montaje total de la máquina, dentro de ellas se tendrán las pruebas preliminares, pruebas de funcionamiento y además las validaciones realizadas; por último, se tendrá algunas observaciones y mejoras sobre los resultados obtenidos.

5.1 Pruebas preliminares de los componentes de la máquina.

A lo largo de la construcción se realiza el respectivo plan de pruebas para cada uno de los subcomponentes de la máquina, para verificar el correcto funcionamiento y proceder al montaje de actuadores y entradas propios del sistema. A continuación, se muestran las diferentes pruebas realizadas.

- PLC FX1N 20MR JLING:

Como se menciona anteriormente, este PLC utiliza MCU de 32 bits de grado industrial con una fuente anti-interferencia y una velocidad más rápida; el programa puede ser escrito en lenguaje de programación de lógica de escalera, compatible con GX-Developer, GX-Works2, y cuenta con comunicación RS232.

Ya que el sistema contará con 11 entradas y 8 salidas, se procede a la selección de este PLC de nivel industrial, el cual cuenta con 12 entradas y 8 salidas digitales. Su voltaje de trabajo es de 24VDC y el voltaje de alimentación es de 10 a 28 VDC.



Figura 46. Prueba unitaria del controlador del sistema. Autores.

Se realiza una prueba preliminar con el PLC seleccionado, realizando la respectiva programación y cableado del mismo. Se debe suministrar del PLC el voltaje de salida necesario (24 VDC) para la activación de las respectivas entradas y salidas del sistema. En el ANEXO C presentado en este informe, se muestra la programación secuencial realizada para el funcionamiento del prototipo.

- Sistema de visualización y HMI:

Como se describe en anteriores secciones, se selecciona la pantalla doble fila JLING para la visualización de parámetros como el tiempo de encendido de la máquina y el número de ciclos que se ejecuten en un periodo de trabajo determinado. A continuación, se presenta las pruebas realizadas para la respectiva configuración de los registros y valores configurables con los cuales el operador podrá interactuar y modificar a conveniencia propia.



Figura 47. Prueba unitaria HMI. Autores.

Para saber más sobre la configuración y uso de la pantalla, se dispuso una sección en el manual de usuario donde se especifica la funcionalidad de cada uno de los componentes propios de la pantalla. Es importante resaltar que el uso inapropiado y sin previo conocimiento de la configuración realizada en la pantalla, puede ocasionar accidente en la puesta en marcha y funcionamiento de la máquina.

- Sistema eléctrico:

En esta sección, se realiza la respectiva prueba unitaria a cada uno de los componentes propios del sistema electrónico. Se lleva a cabo el cableado de cada uno de los elementos de entradas y salidas que estarán controlados por el PLC como pulsadores, sensores, leds y actuadores. En el ANEXO D se muestra el plano eléctrico diseñado para el cableado de entradas y salidas del sistema. Cabe señalar que tanto la alimentación como las respectivas salidas y entradas del PLC, deben ser a 24 VDC. Dicha alimentación es suministrada por la fuente 24 VDC del sistema, la cual se describe anteriormente.



Figura 48. Pruebas realizadas para el sistema electrónico. Autores.

En primera instancia, se realizaron pruebas unitarias a la sección de los leds indicadores, los cuales tendrán la función de informar al operario cuando se ejecute determinada función en la máquina. Por otra parte, se realiza la conexión de la válvula direccional, la cual es el componente que más alta potencia pueda exigir en el sistema. Un inconveniente que se tuvo en cuenta para el cableado del sistema de accionamiento neumático (válvula direccional) es que este componente puede provocar un consumo de corriente mayor al permitido por las salidas del PLC; por tanto, se plantea como solución el uso de un relé electromagnético que aisle y proteja al controlador de las altas corrientes que se puedan presentar en el accionamiento de la válvula. Así, las altas corrientes serán captadas por el relé y se garantiza la protección del PLC.

- Actuador y sistema neumático:

Para verificar el funcionamiento del pistón y el sistema neumático se realiza el montaje de la válvula direccional de forma directa y con el uso de switches accionarla para dejar pasar el flujo de aire a través del actuador, se realiza la prueba unitaria para el sistema de activación neumática.



Figura 49. Pruebas realizadas para el sistema neumático. Autores.

Además, se realiza el respectivo montaje de la lógica neumática y el cableado para alimentar la válvula direccional 5 vías y 2 posiciones del sistema. La válvula direccional se alimenta con la fuente 24 VDC de la máquina, donde se realiza pruebas para el comportamiento del actuador o cilindro, aplicando diferentes presiones al compresor neumático, partiendo de una presión inicial de 4 bares y modificando progresivamente esta presión hasta lograr los 7 bares de funcionamiento. El Actuador neumático permite una presión máxima de 8 bares, por

lo tanto, se realiza la alteración de presión del compresor sin ningún inconveniente. Se obtuvo un nivel óptimo de prensado en el actuador con una presión mayor a los 6,5 bares en el sistema; presiones inferiores a esta, pueden ocasionar un proceso de embutido débil, provocando la fabricación de un producto final defectuoso.

- Sistema de embutido:

También se realizaron pruebas preliminares del sistema de embutido, para la fabricación de patacones planos. Teniendo en cuenta las propiedades del plátano precocido descrito en secciones anteriores, como materia prima se simula la plastilina, ya que es el material más similar con respecto a la maleabilidad que caracteriza a la materia prima. Cabe aclarar que en pruebas de campo se realizarán con el plátano precocido para la validación de la máquina.



Figura 50. Pruebas realizadas para el sistema de embutido. Autores.

Como se observa en la figura anterior, se ejecuta el plan de pruebas preliminares de embutido simulando la elaboración de patacones planos, donde se cumple satisfactoriamente con los requerimientos de espesor solicitados por el cliente. Es importante tener en cuenta la presión de taraje de la válvula reguladora del compresor neumático para lograr un mejor resultado de embutido. En este caso, las pruebas se realizaron con una presión de aproximadamente 7 psi, lo cual fue suficiente para la producción de dos patacones planos.

5.2 Pruebas de funcionamiento.

Teniendo en cuenta las pruebas preliminares realizadas se hicieron otros test para verificar el funcionamiento de cada sistema en conjunto.

5.2.1 Pruebas de repetibilidad.

Entre las pruebas que ayudaran a verificar el funcionamiento correcto de la maquina se encuentra el ensayo de repetibilidad de embutido, donde inicialmente se simula como

materia prima plastilina, dado a que es el material que más se asemeja en cuanto a textura y maleabilidad a la masa de patacón.

En la primera prueba realizada, se simula la fabricación de patacones planos donde se ejecutaron un total de 10 ciclos de embutido, sin ningún tipo de inconveniente. El compresor neumático fue tarado a una presión de aproximadamente 5 bar, lo cual es apropiado para el actuador que soporta una presión máxima de 8 bar. Los componentes electrónicos tampoco se vieron afectados por altas temperaturas ni fallas de funcionamiento en la lógica programada en el PLC. Los leds indicativos presentaron un funcionamiento aceptable en la ejecución de las pruebas. En la fila superior de pantalla HMI de configuración, se observará el número de ciclos de embutido que se lleven a cabo y la fila inferior de la pantalla se mostrará el tiempo en segundos de encendido de la máquina.



Figura 51. Pruebas de embutido con 10 ciclos de proceso. Autores.

En la figura se observa que se llevan ejecutados 10 ciclos de proceso de embutido, con un tiempo total de encendido de 244 segundos. Por tanto, se han fabricado en esos 10 ciclos un total de 20 patacones planos.



Figura 52. Simulación de producto final obtenido. Autores.

Realizadas cada una de las pruebas llevadas a cabo, se muestra en la figura 52 los resultados obtenidos para el proceso de embutido de patacones planos. Dado a que el compresor con el que se realizaron las pruebas cuenta con una presión máxima de 5 bar, se obtuvo una presión regular en el interior del actuador neumático, el cual es de 8 bar, por lo tanto, no se obtuvo el espesor del producto final requerido. Por tanto, se debe garantizar

una presión mayor a 5 bar en el compresor neumático para poder tener un producto final como se solicita.

Luego de la realización de las pruebas para patacones planos, se realizaron las pruebas preliminares para la fabricación de canastas de patacón de 6 Oz. Para esta prueba realizada, se configuro el compresor neumático a una presión de 5 bar. Las pruebas fueron realizadas utilizando como materia prima masa de harina de trigo, teniendo una contextura similar a la del plátano precocido.



Figura 53. Producto preliminar obtenido. Autores.

Del producto obtenido se puede observar algunos desperfectos en el mismo, los cuales se pueden deber a factores como la presión de taraje a la cual está configurado el compresor (ya que la presión tarada pudo ser muy débil para el proceso) o a la materia prima implementada. Los resultados en cuanto a detalles estéticos del producto permitieron ver un déficit en terminación superior de la canasta fabricada, lo cual se debe a la carencia de un borde exterior de los moldes machos que permitan dar esa forma uniforme al producto final.

5.2.2 Pruebas de fuerza del actuador neumático.

Dadas las condiciones de la máquina y la realización de la validación, se realiza de igual manera pruebas de fuerza en el sistema de prensado que se ensambló, para verificar los resultados obtenidos inicialmente. Las pruebas se ejecutaron principalmente para obtener la fuerza experimental requerida para la fabricación del producto final. El sensor de fuerza implementado en el experimento es una celda de carga de 20 Kg con una tensión de operación de 0 – 5 V, la cual fue caracterizada por un Arduino para la toma de los datos.

Partiendo del hecho de que el espesor del producto final depende directamente de la presión a la cual sea tarado el compresor neumático, se realizaron las pruebas de embutido con la masa de plátano para 3 distintas presiones de taraje del compresor. Para cada presión de taraje se realizaron 5 pruebas donde las variables analizadas fueron: cantidad de materia prima, volumen de la canasta obtenida, fuerza aplicada y espesor del producto final.



Figura 54. Adaptación de la celda de carga en el sistema de embutido. Autores.

En la figura 54 se observa el lugar en el que se adecua el sensor de fuerza para la realización de las pruebas. Se sitúa en la base de los moldes hembras de la máquina, ya que es el lugar donde se recibe toda la fuerza que proviene del actuador neumático. En la siguiente figura se puede observar las evidencias de las pruebas preliminares de canastas obtenidas en la prueba realizada para distintas presiones de taraje del compresor.



Figura 55. Canastas fabricadas para la prueba de presiones. Autores.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a diferentes presiones.

| Numero de Prueba | Cantidad de materia prima [g] | Volumen interior de la Canasta obtenida [mL] | Fuerza [Kg-F] | Fuerza [N] | Espesor del producto final [mm] |
|------------------|-------------------------------|--|---------------|------------|---------------------------------|
| 1 | 80 | 100 | 13,7 | 134,26 | 9,2 |
| 2 | 80 | 95 | 14,4 | 141,12 | 8,9 |
| 3 | 80 | 98 | 14,89 | 145,922 | 8,2 |
| 4 | 80 | 102 | 15,1 | 147,98 | 8,8 |
| 5 | 80 | 90 | 14,83 | 145,334 | 9,1 |

Tabla 6. Resultados de pruebas experimentales a 5 bar de presión. Autores.

| Numero de Prueba | Cantidad de materia prima [g] | Volumen interior de la Canasta obtenida [mL] | Fuerza [Kg-F] | Fuerza [N] | Espesor del producto final [mm] |
|------------------|-------------------------------|--|---------------|------------|---------------------------------|
| 1 | 80 | 105 | 15,43 | 151,214 | 7,56 |
| 2 | 80 | 102 | 16,21 | 158,858 | 7,32 |
| 3 | 80 | 108 | 16,63 | 162,974 | 6,92 |
| 4 | 80 | 98 | 15,45 | 151,41 | 6,81 |
| 5 | 80 | 107 | 16,01 | 156,898 | 6,8 |

Tabla 7. Resultados de pruebas experimentales a 6 bar de presión. Autores.

| Numero de Prueba | Cantidad de materia prima [g] | Volumen interior de la Canasta obtenida [mL] | Fuerza [Kg-F] | Fuerza [N] | Espesor del producto final [mm] |
|------------------|-------------------------------|--|---------------|------------|---------------------------------|
| 1 | 80 | 115 | 17,42 | 170,716 | 5,42 |
| 2 | 80 | 110 | 17,78 | 174,244 | 5,23 |
| 3 | 80 | 117 | 16,51 | 161,798 | 5,4 |
| 4 | 80 | 120 | 17,01 | 166,698 | 5,18 |
| 5 | 80 | 109 | 16,88 | 165,424 | 5,53 |

Tabla 8. Resultados de pruebas experimentales a 7 bar de presión. Autores.

Con los resultados obtenidos tabulados se pudieron concluir varias ideas:

- Las fuerzas iniciales calculadas de manera experimental en la salida de campo realizada son aproximadamente iguales a las fuerzas registradas por el sensor de fuerza implementado en el sistema de prensado de la máquina, lo cual concluye que se realiza un cálculo adecuado para la fuerza que se requiere para la fabricación de una canasta de patacón. El actuador neumático fue configurado a una presión de 5 a 7 bar, lo cual está en su rango de funcionamiento nominal.

- Las pruebas tabuladas corresponden a la elaboración de canastas de patacón de 6 Oz de contenido, donde se pudo a partir de las pruebas obtener la cantidad de materia prima necesaria para elaborar la canasta, la cual es de 80 g para el producto final de 6 Oz.
- A medida que se aumenta la presión de taraje en el compresor neumático, se pudieron observar distintas variantes como por ejemplo el aumento de la fuerza captada por el sensor; la presión de taraje del compresor es inversamente proporcional al espesor del producto final obtenido y directamente proporcional al volumen interior de la canasta obtenida.

Así pues, se puede determinar que para obtener un espesor del producto de 5mm (el cual es el requerido por el cliente) se debe operar la máquina a una presión mayor a 6.5 bar aproximadamente, ya que de este valor se obtuvieron resultados de espesor con un promedio de 5,3 mm. Por tanto, esta es una observación importante a tener en cuenta para la operación de la máquina.

5.2.3 Pruebas del sistema de potencia

Otra prueba realizada fue las mediciones experimentales para la determinación de valores nominales de corriente y tensión de cada uno de los actuadores y entradas del sistema. La actividad se realiza principalmente para verificar y corroborar los cálculos realizados en la sección 3.5 de este informe, ya que allí se realizaron los cálculos teóricos respectivos para hallar la potencia requerida para la fuente de alimentación de la máquina a partir de valores del fabricante dados en el datasheet de cada uno de los componentes del sistema de potencia y control. Al tener la máquina en modo run, se tomaron los datos de voltaje y corriente para cada una de las entradas y salidas del sistema, donde se asume un estado crítico en el cual todas las entradas y salidas del sistema se encuentren activos. Las evidencias de los datos tomados se muestran a continuación.

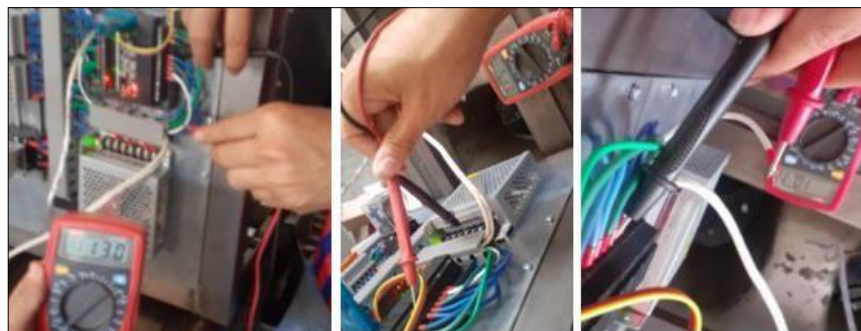


Figura 56. Toma de datos de los componentes del sistema de control. Autores.

Los datos recopilados se tomaron según la corriente total entregada por la fuente en distintas etapas del proceso de funcionamiento. Para cada uno de los datos experimentales obtenidos por la medición con multímetro, se realiza la sumatoria de potencias de cada uno

de los componentes, donde se tiene un totalizado máximo para consumo de potencia de 102,6798 W para la fuente de alimentación del sistema. Así pues, se tiene que la fuente seleccionada para el sistema es la óptima para la potencia exigida por la máquina, la cual cuenta con 120 W de potencia y un suministro de corriente máximo de 5 A.

5.2.4 Pruebas de funcionamiento por operario.

Por otra parte, se acude a la ayuda de una persona ajena al proyecto y sin conocimiento del proceso para que realizara también las respectivas pruebas de funcionamiento de la lógica del sistema. Esto se hizo con el fin de evaluar la complejidad de la lógica planteada para el funcionamiento de la máquina.



Figura 57. Pruebas realizadas por un operario. Autores.

Se puede observar en la figura la ejecución de las pruebas realizadas por una persona que hace las veces de operario de la máquina. Los resultados de las pruebas arrojaron, que el funcionamiento de la máquina es intuitivo, sencillo y de fácil comprensión para cualquier persona que no sepa del proceso, donde además se tiene el apoyo de la pantalla para saber el número de ciclos realizados y por ende el número de producto final que se ha obtenido. Además, el operario podrá modificar el tiempo de prensado que quiera para obtener un producto final más detallado.

5.3 Planteamiento de mejoras.

De los resultados obtenidos en cada una de las pruebas experimentales realizadas en esta sección y las problemáticas surgidas, cabe resaltar las siguientes observaciones que se deben tener en cuenta para mejoras de los resultados del producto final obtenido.

5.3.1 Problemas de adherencia.

Entre las dificultades encontradas se tenía que, aunque los materiales que tienen contacto directo con la materia prima son de tipo antiadherente (acero inoxidable y polietileno de ultra alto peso molecular), se observa durante las numerosas pruebas realizadas que la materia prima tiende en un alto porcentaje a adherirse a los moldes de la máquina. Esto se debe a las propiedades de la masa y su maleabilidad, las cuales variaron de acuerdo con la temperatura a la cual se realizaron las pruebas con el plátano precocido. Se debe recordar que, por experiencia del cliente, nos indica que dos de las principales características de la materia prima a trabajar son:

- La materia prima (plátano precocido) se recomienda moldearla una única vez, ya que después de un intento, la masa perderá en gran porcentaje su propiedad de maleabilidad que permitirá que se tenga la geometría requerida.
- Se debe trabajar la materia prima a una temperatura que oscile entre los 40 y 50 °C, ya que esto permitirá que se pueda aprovechar de mejor manera la propiedad maleable que posee, siempre y cuando se dé un manejo adecuado y rápido para el tratamiento del producto, evitando lo menos posible que pierda temperatura

Teniendo en cuenta estas observaciones en paralelo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se hizo necesario idear una manera para poder evitar la adherencia de la materia prima a los moldes para evitar tanto pérdidas y niveles bajos de producción como desperdicio de materia prima.

Es por esto, que se idea la manera de cubrir cada uno de los moldes propios de las bandejas del sistema, moldes hembras y moldes machos, con un tipo de forro de material de polietileno que cuenta con un nivel de adherencia o fricción muy mínimo y que permitirá obtener mejores resultados finales de producción. El forro permanecerá adaptado a la máquina para un ciclo de trabajo para el caso de los moldes de embutido inferiores. Para el caso de los moldes superiores, permanecerá fijo hasta que el operario decida cambiarlo en el período de trabajo que considere.

Esta opción de solución también es aplicable en maquinaria para producción de este tipo de productos como lo es el caso de la compañía de maqui empanadas, en donde se presenta el mismo inconveniente y se idea una metodología similar a la planteada en este caso. Los resultados obtenidos para maqui empanadas muestran una gran mejoría en la calidad y nivel de producción con respecto al que se tenía antes de aplicar esta solución viable.



Figura 58. Moldes para la fabricación de patacones planos. Autores.

La figura 58 muestra los moldes con los cuales se realizaron las pruebas iniciales de funcionamiento. El material como ya se mencionó, es polietileno o HD. Dado al nivel mínimo de rugosidad que presenta, la materia prima a partir de las pruebas realizadas tiende a adherirse.



Figura 59. Solución planteada. [18]

La figura 59 muestra la idea planteada para favorecer el nivel de productividad y eficiencia del trabajo que se ejecute en la máquina. Con un tipo de forro de material plástico, se puede mejorar en gran porcentaje la producción, ya que este tipo de material presenta un nivel de porosidad muy inferior al HD o al acero inoxidable. Así pues, al tener estos forros en cada uno de los moldes machos o hembras, se puede experimentar una mejor experiencia a la hora de operar la máquina. Esta solución se plantea para que sea implementada gradualmente, de acuerdo con los requerimientos y observaciones que el cliente disponga.

Cabe aclarar que, debido al inconveniente presentado con respecto a la adherencia de la materia prima a los moldes, las pruebas anteriormente descritas se realizaron con la mejora expuesta, en la cual se adapta un tipo de forro de un nivel poroso mínimo para así obtener mejores resultados y favorecer los niveles de producción. Se presentarán los resultados obtenidos para la realización de las pruebas sin la mejora planteada, donde se estima el nivel de producción por minuto con los moldes sin forro.



Figura 60. Resultados obtenidos sin la mejora para patacones planos. Autores.

A partir de las pruebas para los patacones planos se puede observar que, aunque se ejecuta un buen ciclo de embutido, la masa se adhiere a la plataforma base, lo cual disminuye el nivel de producción por el tiempo que se debe dedicar a despegar el producto del molde, además de que se presenta el riesgo de dañar el producto tal y como se muestra en la figura expuesta. Luego de esto, se realizaron las pruebas para la elaboración de canastas de 6 Oz bajo las mismas condiciones de moldes sin forro.



Figura 61. Resultados obtenidos sin la mejora para canastas de patacón. Autores.

Aunque los resultados para las canastas fabricadas fueron buenos, se presenta la desventaja de que se dificulta la extracción del producto final, lo cual demora el nivel de producción e igualmente puede dañar el producto al intentar sacarlo del molde, tal y como sucedió. Entonces de las pruebas de repetibilidad ejecutadas en el prototipo, se realiza el mismo cálculo para determinar el nivel de producción promedio obtenido por la máquina. Las pruebas fueron realizadas a partir de la tabulación de los tiempos requeridos para surtido, espera, embutido y extracción de la materia prima procesada en la máquina.

- Etapa de surtido: Es la etapa inicial en la cual el operario distribuye la materia prima en los moldes de embutido.
- Etapa de espera: Tiempo en el cual se configura la HMI del sistema para esperar un ciclo de embutido.
- Etapa de embutido: Esta sección hace referencia al tiempo requerido de prensado para la materia prima, cuyo tiempo también es configurable desde la HMI.
- Etapa de extracción: Es la etapa final para in ciclo de embutido que se lleve a cabo, donde se obtiene el producto final que será extraído del molde por el operario.

Para obtener el tiempo total se realiza una suma aritmética de cada uno de los tiempos gastados en cada etapa de producción del producto previamente calculado con un cronometro.

| NIVEL DE PRODUCCIÓN/MINUTO PARA PATACONES PLANOS SIN LA MEJORA | | | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| Numero de ciclo | Tiempo de surtido [s] | Tiempo de espera [s] | Tiempo de embutido [s] | Tiempo de extracción [s] | TIEMPO TOTAL /CICLO [s] | Número de patacones/ciclo |
| 1 | 3,1 | 4 | 4 | 17,6 | 28,7 | 2 |
| 2 | 3,4 | 4 | 4 | 18,4 | 29,8 | 2 |
| TIEMPO TOTAL [s] | | | | | 58,5 | TOTAL PRODUCIDO: 4 PATACONES |

Tabla 9. Nivel de producción para patacones planos sin aplicación de la mejora. Autores.

| NIVEL DE PRODUCCIÓN/MINUTO PARA CANASTAS DE PATACON SIN LA MEJORA | | | | | | |
|---|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| Numero de ciclo | Tiempo de surtido [s] | Tiempo de espera [s] | Tiempo de embutido [s] | Tiempo de extracción [s] | TIEMPO TOTAL /CICLO [s] | Número de patacones/ciclo |
| 1 | 14,8 | 4 | 4 | 35,1 | 57,9 | 4 |
| TIEMPO TOTAL [s] | | | | | 57,9 | TOTAL PRODUCIDO: 4 CANASTAS |

Tabla 10. Nivel de producción para canastas de patacón sin aplicación de la mejora. Autores.

En los resultados tabulados se observa cada uno de los tiempos requeridos para las etapas de producción para un ciclo de proceso, según el nivel aproximado de producción por minuto. Se puede observar un tiempo considerable requerido para lo que corresponde a la extracción del producto final de los moldes, ya que se la masa se adhiere.

A continuación, se mostrarán las evidencias de la realización de las pruebas de la mejora planteada, donde se estima el nivel de producción por minuto con los moldes con forro, en este caso adecuando bolsas plásticas a los moldes tanto superiores como inferiores del sistema.



Figura 62. Proceso de embutido con la mejora para patacones planos. Autores.

Se puede observar en la anterior imagen las pruebas adaptando las bolsas para evitar la adherencia de la masa en los moldes. Los resultados fueron favorables y se pudo así mejorar los tiempos de extracción para el producto final. De igual forma se presentan las evidencias de los resultados obtenidos para la elaboración de las canastas a partir de la implementación de las bolsas en los moldes.



Figura 63. Proceso de embutido con la mejora para canastas de patacón. Autores.

En la anterior figura se observa la solución resultante para la extracción, garantizando la geometría obtenida sin peligro de que se dañe el producto por la adherencia a los moldes.

| NIVEL DE PRODUCCIÓN/MINUTO PARA PATACONES PLANOS | | | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Numero de ciclo | Tiempo de surtido [s] | Tiempo de espera [s] | Tiempo de embutido [s] | Tiempo de extracción [s] | TIEMPO TOTAL /CICLO [s] | Número de patacones/ciclo |
| 1 | 2,8 | 4 | 4 | 4,6 | 15,4 | 2 |
| 2 | 2,6 | 4 | 4 | 3,8 | 14,4 | 2 |
| 3 | 2,6 | 4 | 4 | 3,9 | 14,5 | 2 |
| 4 | 3,1 | 4 | 4 | 4,1 | 15,2 | 2 |
| TIEMPO TOTAL [s] | | | | | 59,5 | TOTAL PRODUCIDO: 8 PATACONES |

Tabla 11. Nivel de producción para patacones planos. Autores.

| NIVEL DE PRODUCCIÓN/MINUTO PARA CANASTAS DE PATACÓN | | | | | | |
|---|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Numero de ciclo | Tiempo de surtido [s] | Tiempo de espera [s] | Tiempo de embutido [s] | Tiempo de extracción [s] | TIEMPO TOTAL /CICLO [s] | Número de patacones/ciclo |
| 1 | 9,2 | 4 | 4 | 12,7 | 29,9 | 4 |
| 2 | 8,3 | 4 | 4 | 14,6 | 30,9 | 4 |
| TIEMPO TOTAL [s] | | | | | 60,8 | TOTAL PRODUCIDO: 8 CANASTAS |

Tabla 12. Nivel de producción para canastas de patacón. Autores.

En las anteriores tablas se observa el sumatorio total de cada tiempo requerido por ciclo determinando el nivel de producción de la maquina donde es notable la mejoría en la producción de 2 veces el nivel de producción obtenido sin la mejora, además de asegurar en gran medida la calidad del producto.

5.3.2 Problema de calentamiento en los actuadores

Otro de los problemas encontrados en un principio para la realización de las pruebas, se presenta cierto calentamiento en algunos actuadores del sistema como las cerraduras encargadas de asegurar los rieles y bandejas inferiores. Para mejorar esta situación, se realiza la adaptación de una resistencia en paralelo al circuito de potencia del sistema con objetivo de disipar la potencia consumida por el actuador. Por otra parte, se implementaron fusibles de protección para los actuadores del sistema dados los picos de corriente que se puedan presentar en el funcionamiento de la máquina, los cuales ponen en riesgo el PLC.

Los resultados obtenidos de la mejora implementada fueron favorables, donde se realizaron pruebas asumiendo la intensidad horaria de 8 horas a la cual va a estar expuesta la máquina diariamente. En la prueba realizada, se presenta el funcionamiento adecuado de la máquina, sin sobrecalentamientos y garantizando la protección del controlador del sistema.

Dado que la máquina es de uso industrial en el sector alimenticio, en este entorno las jornadas de trabajo regularmente para micro y medianas empresas, de la cual hace parte el cliente final, son de aproximadamente 3 horas para producción; lo cual depende del nivel de ventas que se tenga en la empresa. Además, debido a las propiedades de la materia prima (plátano precocido) se puede presentar oxidación durante la refrigeración prolongada del producto (más de dos días), lo cual conlleva a pérdidas de producción. Por lo tanto, se recomienda producir con el prototipo la cantidad necesaria acorde al nivel de ventas que se tenga diariamente.

5.3.3 Problemas de estética.

Teniendo en cuenta que el resultado final de la máquina en temas de funcionamiento es correcto, otro problema encontrado fue que en la parte visual la máquina al ser totalmente hecha por métodos ortodoxos de metalmecánica y no realizadas por ejemplo por una máquina de control numérico CNC se obtienen acabados con algunas fallas no funcionales pero si estéticas, como se puede ver en la figura 51 se tiene partes donde la diferencia de color es notable haciéndolo visualmente un poco tosco el ensamble final. Es por esto que se plantea el pintado de la superficie exterior de la máquina para obtener un acabado superficial visualmente uniforme y entregar un producto con buenas características no solo técnicas si no estéticas también.

Para darle solución a esta problemática se necesitaría hacer uso de la pintura única y exclusivamente en la parte exterior aquella que no tendría contacto con los alimentos respetando las normas INVIMA que rigen la normativa de la máquina y más sin embargo se tiene que usar pintura electroestática este es un recubrimiento en polvo, un buen sustituto de las piezas metálicas y puede ahorrar hasta un 97% del costo cuando se usa, lo que lo hace reciclable.

Para esta problemática estética que presentaba la máquina al finalizar el proceso de ensamble se presentaron dificultades con el tema económico por parte de la empresa solicitante por lo que se le plantea la opción de a un futuro prestarle asesoría en el pintado para resolver la uniformidad visual en la máquina.

5.4 Comparación de resultados.

Ya habiendo realizado las pruebas y mejoras que se consideraron necesarias para verificar el funcionamiento de la máquina era necesario corroborar el cumplimiento de los requerimientos expuestos por el cliente, entre ellos el nivel de producción, teniendo en cuenta el nivel que obtenía con la máquina artesanal se tiene lo siguiente.

- Para las canastas de patacón, se estima un tiempo aproximado de 2 minutos por unidad producida.
- Para la fabricación de patacones planos, se establece un nivel de producción de aproximadamente 5 unidades por minuto.

Realizando un paralelo de los niveles de producción de la empresa con los resultados obtenidos, se observa la gran favorabilidad en la capacidad de producción que llega a ofrecer la máquina (en especial con la elaboración de las canastas de patacón ya que estas tienen un nivel de complejidad mayor de producción con respecto a la elaboración de los patacones planos). Así pues, se garantiza la comodidad y ahorro de esfuerzo en el trabajador, además de reducir malgasto de materia prima. Algunas observaciones del desempeño de la máquina de acuerdo con el tiempo total de trabajo son:

- El tiempo aproximado para las pruebas de repetibilidad tanto para fabricación de patacones planos como para la fabricación de canastas fue de 6 horas, en las cuales no se presentaron inconvenientes en los actuadores del sistema.
- La cantidad promedio de producido en el lapso de operación de la máquina fue de aproximadamente 8 patacones planos por minuto y 8 canastas por minuto respectivamente. Cabe señalar, que este nivel de producción se dio según el tiempo de embutido y de espera configurados en la HMI del prototipo, el cual fue de 4 segundos para espera del actuador y 4 segundos de embutido. Así pues, estos promedios de producción dados pueden aumentar acorde a las preferencias del operario, el cual podrá disminuir el tiempo configurable de la máquina ya sea para embutido o para espera, y así aumentar el nivel de producción.
- Según de las pruebas realizadas, se observó que la materia prima se adhiere constantemente a los moldes, por tanto, las tabulaciones realizadas se hicieron con pruebas en las cuales se adapta bolsas a los moldes de embutido.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente se da por cumplido los requerimientos de producción y calidad expuestos por la empresa.

5.5 Visita de revisión por parte del empresario.

Al finalizar el proceso de desarrollo del PROCESADOR DE ALIMENTOS PARA ELABORACIÓN DE CANASTILLAS DE PATAcón DE DIFERENTES TAMAÑOS, se revisaron los objetivos propuestos en este documento y confirmando el cumplimiento de los 3 primeros se programa una visita por parte del cliente final para obtener el cumplimiento del último y más importante objetivo de este proyecto, donde el empresario pudo realizar pruebas con la maquina luego de una pequeña inducción de su funcionamiento.



Figura 64. Cliente final probando la máquina. Autores.

Como resultado de esta visita se obtiene por parte del representante legal de la empresa, la notificación de cumplimiento de los requerimientos solicitados por PATACOMA EXPRESS teniendo así la aceptación en cuanto a la calidad y el nivel de producción obtenido con la máquina, el cliente presenta la respectiva carta de aceptación con las observaciones favorables este documento se encuentra en el anexo E de este informe.

5.6 Entrega y análisis de desempeño en campo de la máquina.

Luego de obtener la aprobación de la empresa solicitante y ultimar detalles respecto a la estética general, se procede a realizar la entrega de la máquina hasta la ciudad de San Juan de Girón, donde se instala para su uso en la cocina usada por la empresa para su producción.



Figura 65. Entrega e instalación de la máquina. Autores.

Los resultados obtenidos luego de una semana de uso de la maquina fueron favorables, como se había mencionado anteriormente está solo estaría a una intensidad horaria de aproximadamente 3 a 4 horas destinadas para la producción, teniendo en cuenta además que en todo momento no estaría como tal realizando el proceso, pero si encendida en muchos casos, la máquina no presento ningún fallo o incidente respecto al funcionamiento

eléctrico, electrónico o neumático y pudo producir las canastillas de patacón sin problemas como estaba previsto, de igual forma los problemas en operación por falta de información o conocimiento de la máquina fueron resueltos con facilidad con el uso del manual de usuario gracias a su tabla dispuesta para la solución de problemas.



Figura 66. Producto final. Autores.

Como se puede ver en la figura 66 el producto final obtenido por la máquina, es uno con la forma de un vaso de 6oz que cumple con las especificaciones del cliente, donde al usar una cantidad de masa igual en cada molde hembra podrá obtener mejores resultados respecto a similitud en las canastillas producidas obteniendo una estandarización de los productos a vender. De igual forma se deja a disposición en el manual de usuario la información de contacto para dar asesoría técnica si se llegase a presentar algún problema además de recalcar la lectura del capítulo de mantenimiento para aumentar su vida útil.

5.7 Posibles mejoras a futuro.

Para concluir el trabajo realizado hasta el momento, y analizando los resultados obtenidos dados la solución planteada donde se implementa el uso de bolsas para evitar la adherencia de la materia prima a los moldes; se plantea una solución futura enfocada a una máquina con un nivel de automatización más complejo y completo para favorabilidad del operario en donde se implementen sensores y actuadores en cada uno de los moldes del sistema de embutido que permita la dosificación de un tipo de aceite mineral para cada ciclo de embutido, con lo cual se eliminaría la utilización de las bolsas plásticas en los moldes mejorando algunos factores como:

- Niveles de producción, ya que la máquina se lubricaría automáticamente, sin necesidad de invertir tiempo en la preparación de las bolsas en cada molde.
- Complejidad del proceso, con lo cual el operario podrá realizar una labor repetitiva de una manera más sencilla y rápida al solo tener que surtir la máquina con la materia prima y extraer el producto al final del proceso de embutido.

- Disminución en niveles de contaminación, donde se puede evitar el uso excesivo de plásticos y contribuir con el cuidado del medio ambiente, además de disminuir los costos de producción.

Esta solución se podría implementar gradualmente y a futuro, acorde a las solicitudes o requerimientos adicionales que pueda realizar el cliente, enfocados en un nivel más completo de automatización con objetivo de disminuir en lo más posible la intervención del operario en el proceso y mejorar la calidad del producto final. También para evitar los problemas estéticos presente en la maquina también se recomienda reducir el uso de procesos de manufactura ortodoxos e implementar en cambio más uso de tornillería y centro de maquinados de control numérico CNC para así obtener piezas más uniformes.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos para el cálculo teórico de la fuerza necesaria para la fabricación de una canasta de patacón coincidieron con las pruebas experimentales realizadas en la máquina. Cabe aclarar que la fuerza que se obtenga en el actuador neumático de la máquina depende directamente de la presión a la cual sea tarado el compresor neumático.
- La medición y toma de datos para la tabulación de las canastas obtenidas en la etapa de pruebas permitieron verificar experimentalmente como repercute directamente la presión del sistema en la obtención de un buen producto final.
- Al ser realizado casi en su totalidad los procesos de manufactura por un integrante del proyecto para reducir los costos se obtuvieron algunas partes de la máquina con un grado estético un tanto menos a lo esperado, pero aun así siendo totalmente funcionales.
- El modo de programación que se usó permite al usuario realizar el menor número de operaciones, además de darle la total autonomía de modificar los tiempos que hacen parte del proceso, así como de mantener en todo momento su humanidad en completa seguridad.
- Teniendo en cuenta la capacidad adquisitiva con la que contaba la empresa solicitante del proyecto se tuvo que limitar el proyecto de 3 tipos de productos a 2.
- En el proceso de instrumentación de la máquina se realizaron diferentes acoples para poner en una posición precisa los sensores que hacían parte del proceso, en su totalidad la máquina está monitorizada por finales de carrera que realizan el contacto al momento de estar sea la puerta lateral, el molde superior o la bandeja inferior en la posición destinada.
- El proceso de soldadura en láminas de acero inoxidable provoca una flexión en la misma lo que ocasiona algunos problemas en la alineación entre algunas partes, por ello se debe evitar al máximo el proceso de soldadura en este, lo óptimo sería usar más acoples usando tornillería.
- De acuerdo con los resultados tabulados, se recomienda al operario adaptar bolsas a los moldes del sistema para favorecer tanto los tiempos de producción como la calidad de un producto final. Se recomienda cambiar las bolsas durante el período de trabajo diario que se use la máquina.
- Debido a que la maquina fue construida principalmente por acero inoxidable, esta tiene un peso considerable de aproximadamente 20 Kg, por ello se recomienda implementar un sistema de ruedas como el usado en algunos electrodomésticos.
- Se realiza el ensamble total de cada uno de los subcomponentes del sistema (mecánico, electrónico y neumático), teniendo en cuenta los cálculos realizados para la selección e implementación de cada uno de los componentes propios de la máquina.
- El diseño de la máquina, tanto estructuralmente como en la programación realizada, presenta una arquitectura amigable con el operario que requiera de su uso, donde se tiene un funcionamiento intuitivo y de fácil aprendizaje.
- Es importante recalcar el uso de mecanismos de accionamiento adecuados para proceso industrial que se requiera automatizar. En este caso, la materia prima a procesar es de carácter alimenticio; por tanto, se descartó desde un principio un diseño por accionamiento hidráulico, ya que se podrían presentar fugas de aceite,

disminuyendo así la calidad del producto y de igual manera poniendo en riesgo la salud del consumidor final.

- Según los requerimientos impartidos por la empresa PATACOMA EXPRESS S.A.S., se realizaron los respectivos cálculos y análisis de costos para el sistema de embutido de la máquina. Se ejecuta un paralelo entre sistemas de accionamiento neumático y electromecánico, teniendo en cuenta factores como costos, velocidad de corte, fuerza requerida, nivel de producción, entre otros. Los resultados se vieron reflejados en una ventaja considerable para un sistema de accionamiento neumático en cada uno de los ítems descritos, por lo cual este sistema de accionamiento fue el seleccionado.
- Se implementaron los materiales óptimos y requeridos para el procesamiento y manipulación de productos de carácter alimenticio, acatando el reglamento técnico de la resolución 683 de 2012 Ministerio de Salud y Protección Social. Cerca del 70% de la estructura se ensambla en lámina y ángulo de acero inoxidable. En cuanto a las partes de la máquina que tienen un contacto directo con la materia prima (moldes machos), se seleccionó el material en polietileno HD debido a la resistencia a las altas y bajas temperaturas que presenta, además de su baja densidad.
- Se selecciona el PLC F1XN-20MR como la opción más viable y adecuada para controlar el proceso a realizar, ya que este autómata maneja voltajes de entrada y de salida de un nivel más industrial (24 VDC), lo cual facilita la selección de componentes del sistema; además de tener un precio bastante accesible, su programación es sencilla y maneja un software gratuito.
- Al usar un material plástico como lo es el HD se debe tener en cuenta que los moldes se deberán cambiar al momento que la rosca comience un proceso de desgaste por el constante cambio entre moldes.
- Se debe usar la cantidad propicia de materia prima para que el producto pueda tener la forma correcta, la cantidad de plátano afecta directamente la altura del producto.
- La implementación de la mejora para adaptación de bolsas a los moldes permite favorecer el nivel de producción de la máquina al doble con respecto a las pruebas realizadas sin la mejora. Así pues, la mejora fue adecuada para los resultados del producto final.
- Teniendo en cuenta el desempeño de la máquina en funcionamiento, se pudo alcanzar el nivel de producción requerido por el empresario, mejorando los niveles de producción y la calidad del producto final con respecto a las estadísticas de la maquina artesanal de la empresa, pasando de un nivel de producción de 5 a 8 patacones planos por minuto y de 2 a 8 canastas de patacón por minuto, además de mejorar la calidad y complejidad de fabricación del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- [1].R. M. C. -. RADDAR, «Actualización económica: sector de restaurantes Bucaramanga,» Cámara de comercio, Bucaramanga, Bucaramanga, 2016.
- [2].GONZALEZ, J., & GALINDO, N. «Análisis estructural Integrativo de Organizaciones Universitarias a partir de metodologías de diseño ingenieril» UNIVERSIDAD DE VERACRUZANA, México, 2019.
- [3].VISTRÓNICA S.A.S, «Catálogo sensores de presión,» 2020. [En línea]. <https://www.vistronica.com/>
- [4].INGEMECANICA, Sistemas Hidráulicos de Transmisión de Potencia. (2020). Retroceded 25 October 2020, from <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>
- [5].GARCIA REYES, F. J., & GONZALEZ, A. J. (2009). Elaboración y automatización de una maquina empacadora industrial a escala. Obtenido de UPB.IM.pdf
- [6].MAJUNDAR, S.R. Sistemas neumáticos principios y mantenimiento. México: Mc Graw Hill Editorial, 1997.
- [7].FESTO, Colombia. Software de aplicación y cálculo para análisis de componentes neumáticos. Available in: https://www.festo.com/cms/es-co_co/18161.htm
- [8].FESTO, Colombia, Productos de automatización industrial Available in: https://www.festo.com/co/es/c/productos/automatizacion-industrial-id_pim2/.
- [9].INDUSTRIALES ANDES, Productos de motores Available in: <https://industrialesandes.co/>
- [10].DÍAZ, C.; Orientación para el diseño y cálculo de potencias en fuentes de Alimentación”. Lisboa – Portugal, 2005.
- [11].“RESOLUCIÓN 683”, INVIMA - Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. Available: <https://paginaweb.invima.gov.co/normatividad-sp/510373846/alimentos/resolucionesalimentos/resoluciones-2012/2800-resolucion-683-marzo-282012.html>.
- [12].“RESOLUCIÓN 2674 DE 2013.” [Online]. Available in: <http://www.suinjuriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30033811>.
- [13]. BEER, F.; Mecánica De Materiales Segunda Edición. Colombia: Mc Graw Hill. 2001.
- [14].McCORMAC, J.; Diseño de Estructuras Metálicas. México: RSI, 1975. 789p.
- [15].RICHARDSON, D. V., & CAISSE, A.; Resistencia de materiales, quinta edición., Jr. Prentice Hall.
- [16].IMPOINOX, Ángulos inoxidable Available in: <https://impoinox.com/angulo-inox/1-angulo-1-8-x-3-4-x-23623-ss-304.html>
- [17].SCHEY, J.; Procesos de Manufactura. Mc Graw Hill. Tercera Edición.
- [18].SOLBRICK, Fundas para autos, Available in: https://www.solbrickb.com/index.php?main_page=product_info&products_id=8531
- [19].ERDMAN, A. Diseño de mecanismos análisis y síntesis. México; Prentice Hall Editorial, 1998.

- [20].DÍAZ, C. Orientación para el diseño de Fuentes de Alimentación”. p. 2,3, 4, 6, 10, 15,16. 2005.
- [21].McCORMAC, J. Diseño de Estructuras Metálicas. México: RSI, 1975. 789p.
- [22].ANGULO, J. Microcontroladores PIC, Diseño Practico De Aplicaciones para PIC 16f87x. España: Mc Graw Hill, 2000. p. 9-11.
- [23].SILICIANO, B.; SCIAVICCO, L.; VILLANI, L.; ORIOLO, G.; Robotics Modelling, Planning and Control, Italy: Springer, 2009, 625p
- [24].MORENO, M., VILLARRAGA, J., & MORENO, R. Diseño de un sistema de accionamiento neumático para procesamiento de alimentos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2014.
- [25].GÓMEZ, V., & MORENO, R. (2013). Conceptos y modelamiento matemático de sistemas híbrido-neumáticos. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2017.
- [26].MEDRANO, Z., PÉREZ, C., GÓMEZ, J., & VERA, P. (2000). Nueva metodología de diagnóstico de fallas sistemas de riel en una máquina de transporte de cargas puntuales. Universidad Autónoma de Baja California. Ingeniería Investigación y Tecnología, Tomo I; 2014.

ANEXOS

En la presente sección, se mostrarán las respectivas evidencias de salidas de campo, programación del sistema, diseños y planos CAD de la máquina, planos electrónicos de la máquina, ficha técnica del acero inoxidable implementado, cotizaciones realizadas de algunos subcomponentes y por último el manual de usuario donde se especifica el funcionamiento de la máquina y los modos de configuración para la HMI del sistema.

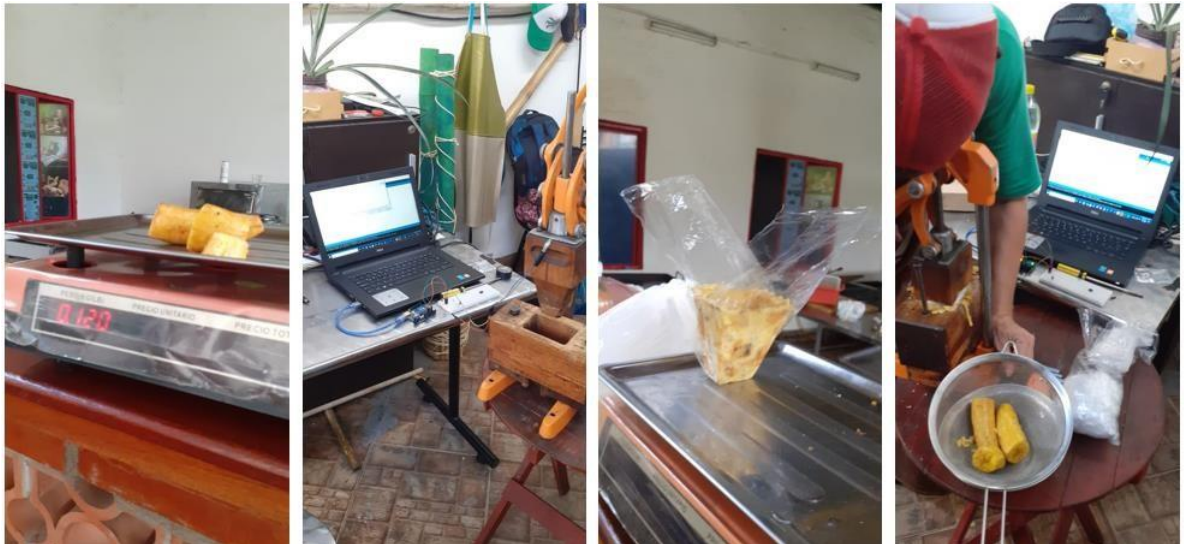
ANEXO A

Salida de campo para toma experimental de muestras:

En la etapa inicial de diseño del proyecto, se realizó la respectiva salida de campo para dos objetivos principales:

- Realizar las pruebas experimentales de la fuerza requerida para la fabricación de una canasta de patacón a partir de la adaptación de un sensor de fuerza en la máquina artesanal con la cual cuenta la empresa actualmente.
- Determinar las falencias de la máquina actual, teniendo en cuenta factores como nivel de producción, cumplimiento de la normativa vigente, complejidad de producción y seguridad del operario.

Las evidencias de las pruebas realizadas se muestran en las siguientes figuras:



Por otra parte, se presentan las evidencias de la programación realizada en Arduino UNO para la toma de datos experimentales del sensor de fuerza acoplado a la máquina.

Código para toma de datos con el sensor de fuerza FSR interlink 406

```
/* FSR testing sketch.

Connect one end of FSR to power, the other end to Analog 0.
Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground.

For more information see www.ladyada.net/learn/sensors/fsr.html */

int fsrPin = 0; // the FSR and 10K pulldown are connected to a0
int fsrReading; // the analog reading from the FSR resistor divider
int fsrVoltage; // the analog reading converted to voltage
unsigned long fsrResistance; // The voltage converted to resistance, can be very big so make "long"
unsigned long fsrConductance;
double fsrForce; // Finally, the resistance converted to force
double peso;
double gravedad = 9.81;
void setup(void) {
  Serial.begin(9600); // We'll send debugging information via the Serial monitor
}

void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrPin);
  Serial.print("Analog reading = ");
  Serial.println(fsrReading);

  // analog voltage reading ranges from about 0 to 1023 which maps to 0V to 5V (= 5000mV)
  fsrVoltage = map(fsrReading, 0, 1023, 0, 5000);
  Serial.print("Voltage reading in mV = ");
  Serial.println(fsrVoltage);

  if (fsrVoltage == 0) {
    Serial.println("No pressure");
  } else {
    // The voltage = Vcc * R / (R + FSR) where R = 10K and Vcc = 5V
    // so FSR = ((Vcc - V) * R) / V yay math!
    fsrResistance = 5000 - fsrVoltage; // fsrVoltage is in millivolts so 5V = 5000mV
    fsrResistance *= 10000; // 10K resistor
    fsrResistance /= fsrVoltage;
    Serial.print("FSR resistance in ohms = ");
    Serial.println(fsrResistance);

    fsrConductance = 1000000; // we measure in micromhos so
    fsrConductance /= fsrResistance;
    Serial.print("Conductance in microMhos: ");
    Serial.println(fsrConductance);

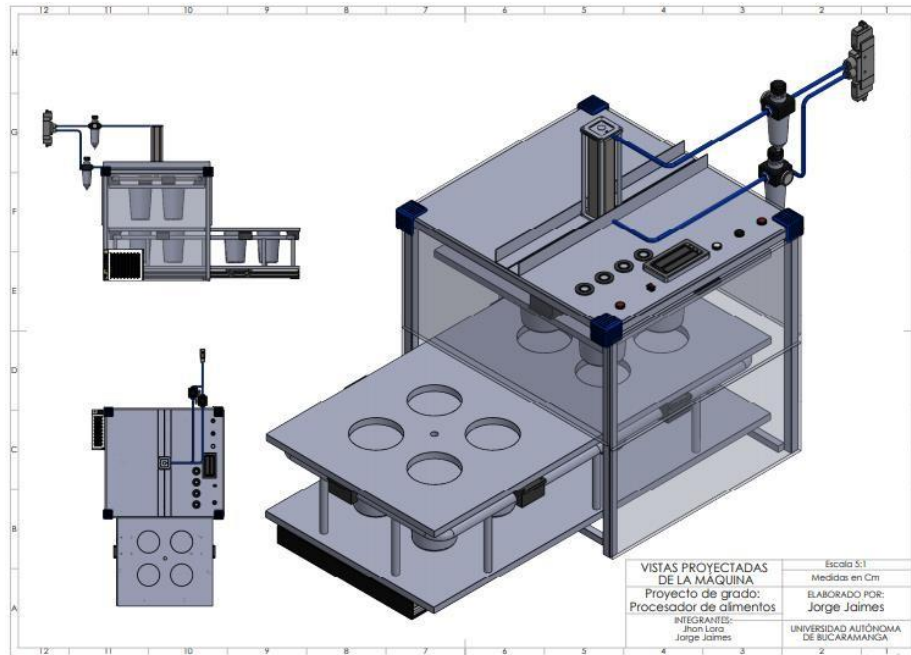
    // Use the two FSR guide graphs to approximate the force
    if (fsrConductance <= 1000) {
      fsrForce = fsrConductance / 80;
      Serial.print("Force in Newtons: ");
      Serial.println(fsrForce);
      peso = (fsrForce/gravedad)*1000;
      Serial.print("Peso en gramos: ");
      Serial.println(peso);
    } else {
      fsrForce = fsrConductance - 1000;
      fsrForce /= 30;
      Serial.print("Force in Newtons: ");

```

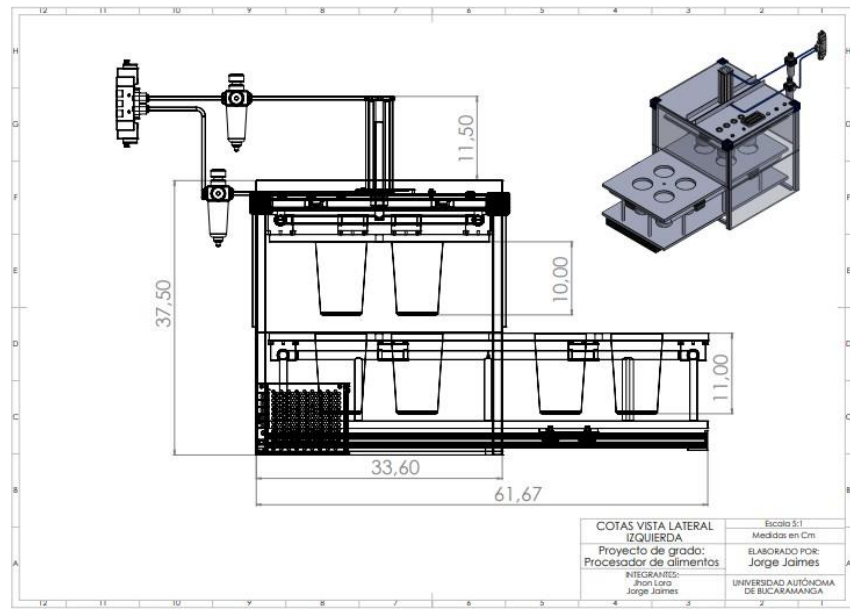
ANEXO B

Vistas de la máquina:

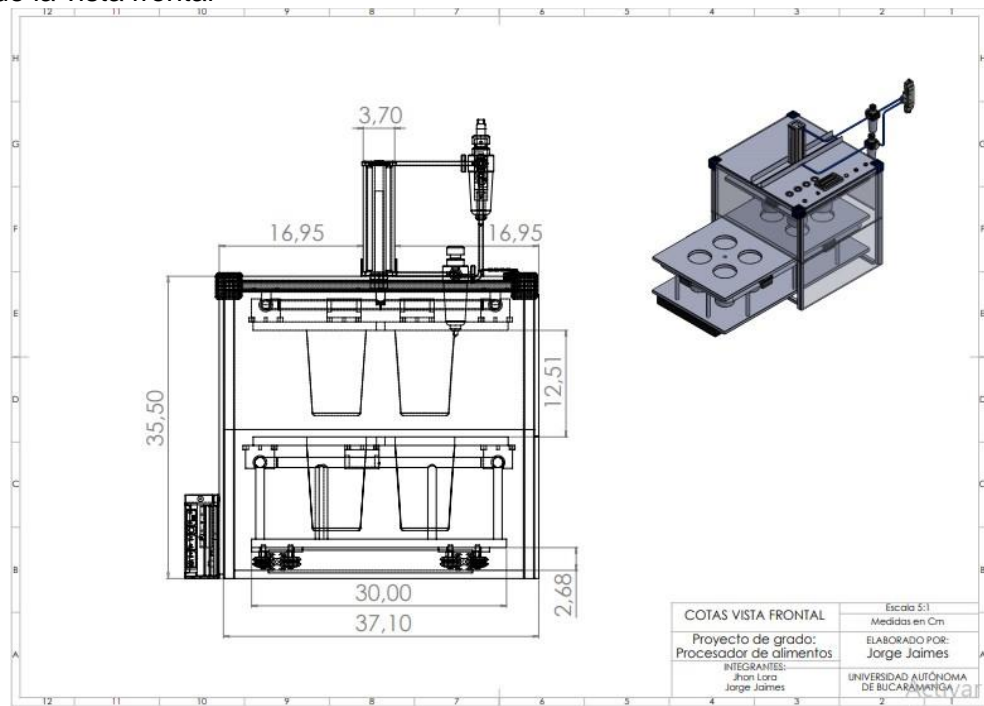
Se realizaron los planos y vistas detalladas de cada una de las perspectivas del prototipo, describiendo las dimensiones y cotas propias de la estructura exterior de la máquina. Además, se detallan los diseños y las cotas de los principales componentes de la máquina.



Cotas vista lateral izquierda

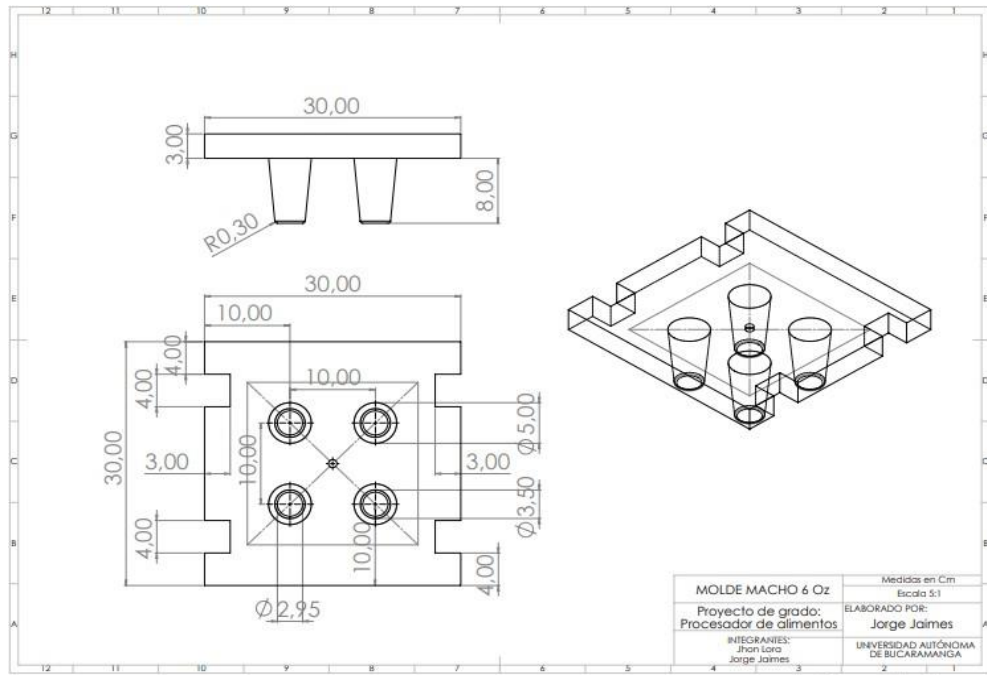


Cotas de la vista frontal

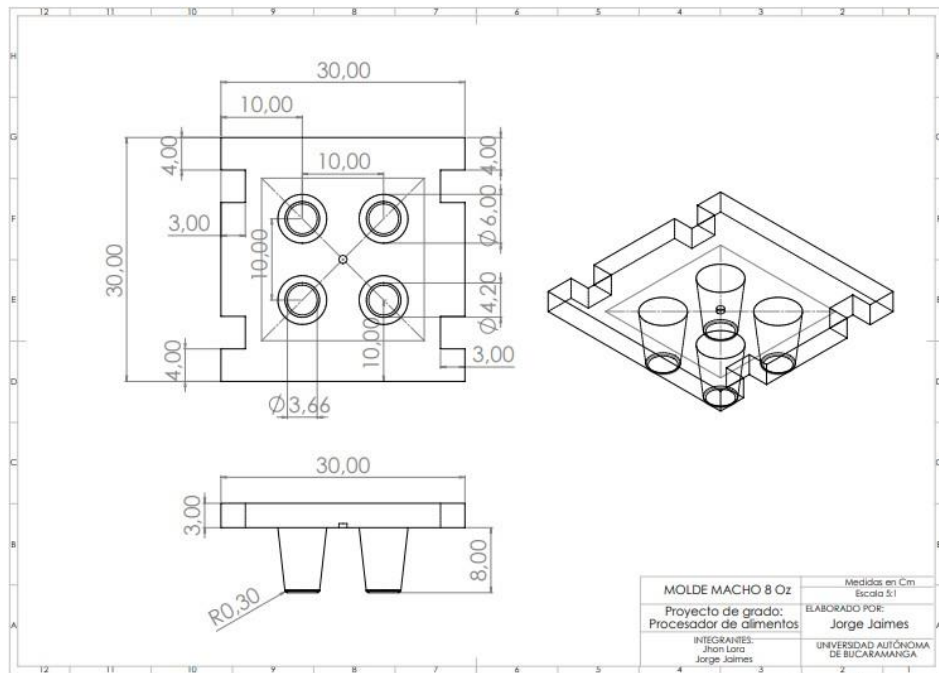


Planos moldes machos de la máquina

Cotas molde macho de 6 Oz

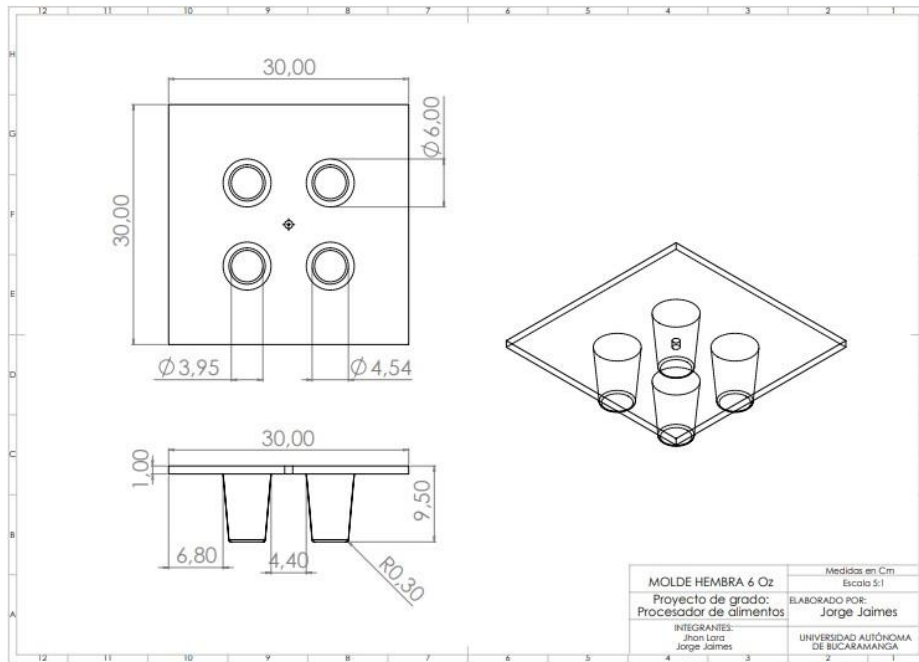


Cotas molde macho de 8 Oz

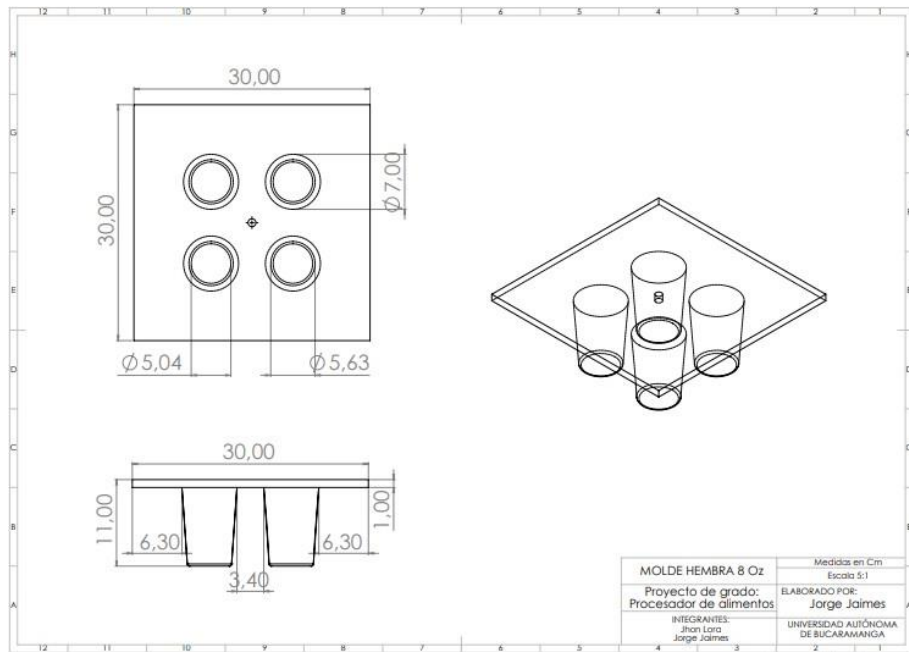


Planos moldes hembras de la máquina

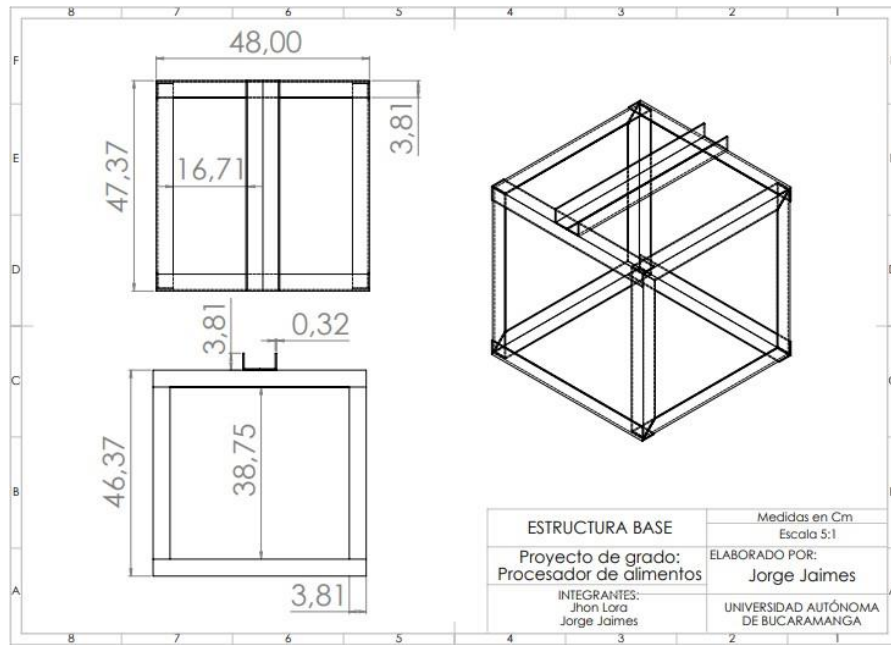
Cotas molde hembra de 6 Oz



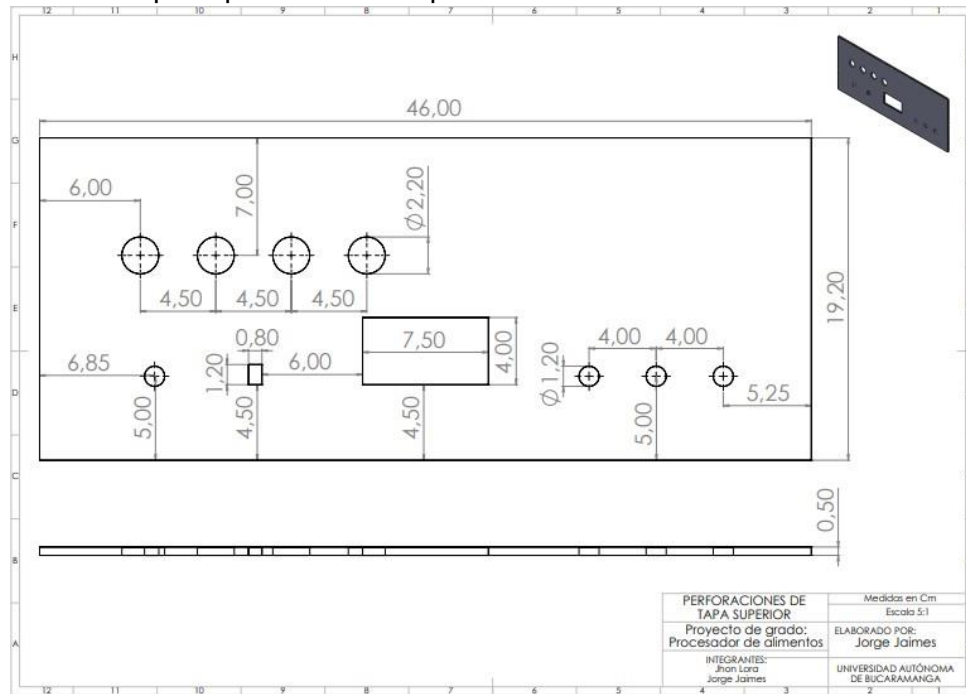
Cotas molde hembra de 8 Oz



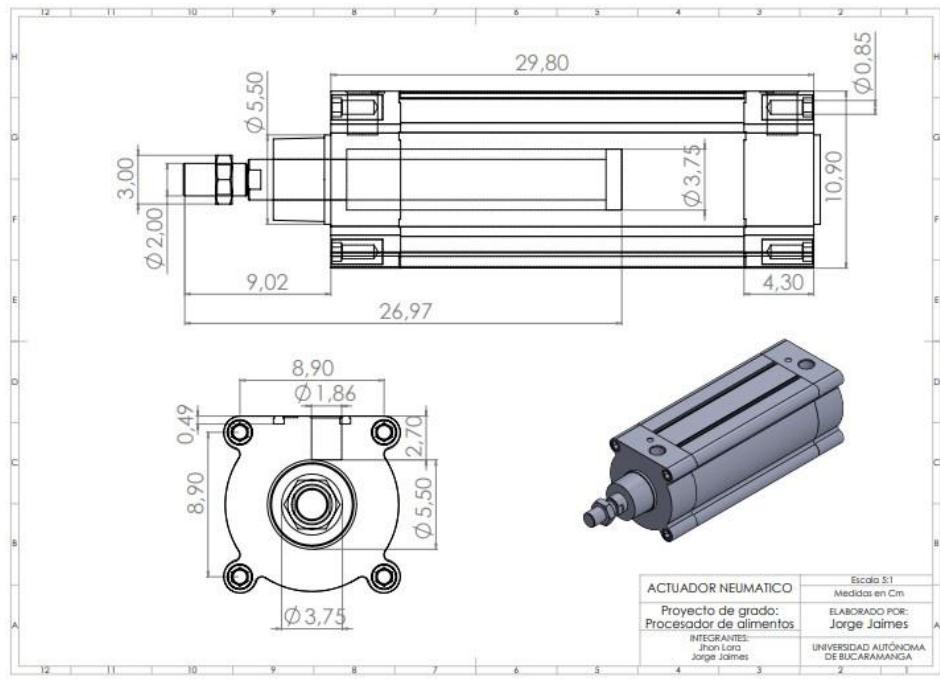
Cotas estructura base de la máquina



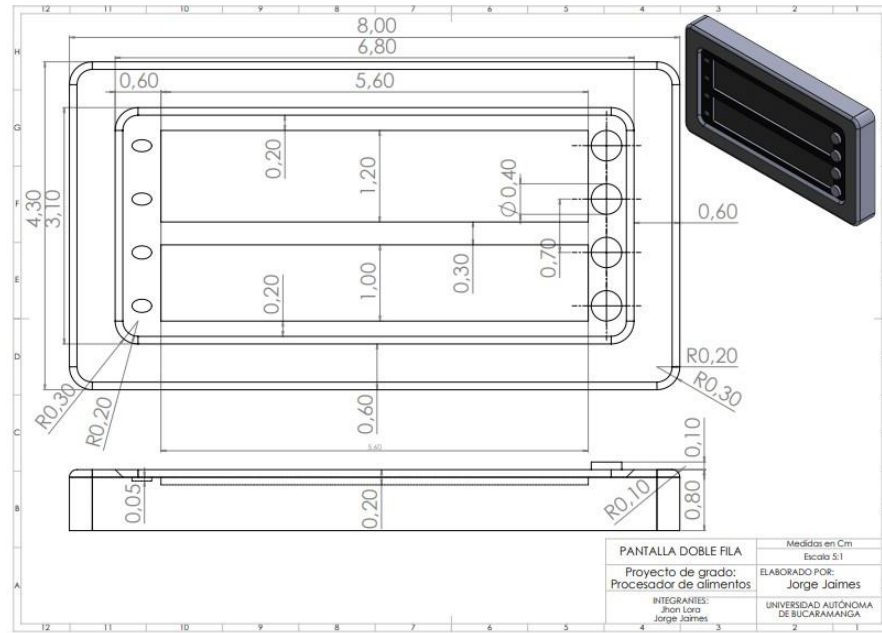
Perforaciones de tapa superior de la máquina



Cotas del actuador neumático de la máquina



Plano pantalla doble fila



ANEXO C

Programación en lenguaje Ladder de la lógica secuencial del sistema:

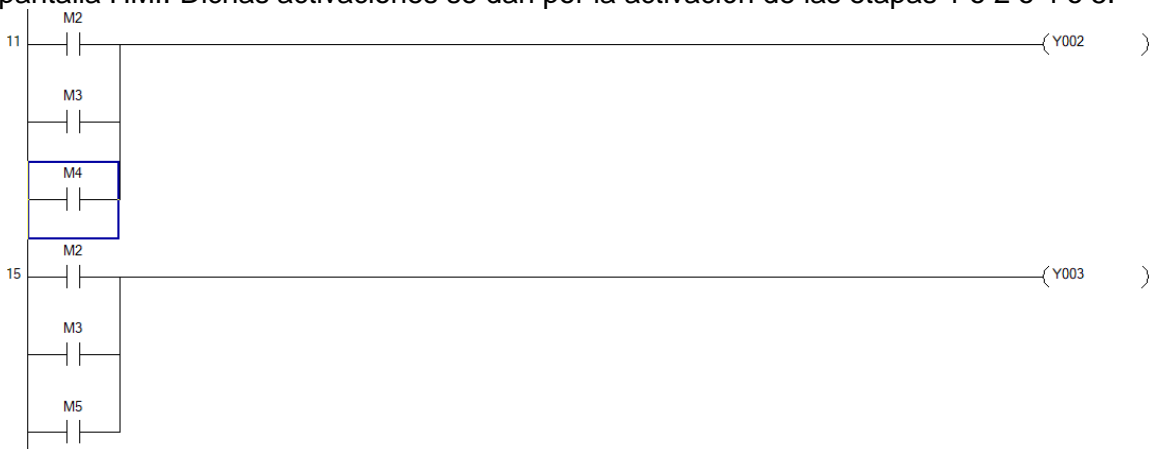
A continuación, se presenta la programación diseñada para el funcionamiento secuencial del prototipo construido. El software implementado fue el GX-Works2, propio de Mitsubishi y de la línea de PLC FXN. El lenguaje de programación es el Ladder o programación en escalera.

Se presenta de la línea 0 a la 30 la programación del Ladder combinacional para la lógica del sistema.



La línea 0 presenta la activación de la salida Y0 (Led de proceso), que es activado por la etapa 3 del proceso. Además, se da la activación de los relés internos M161 y M163 de la pantalla HMI.

La línea 4 presenta la activación de la salida correspondiente al led de espera para el proceso de embutido. Además, la activación de los relés internos M160 y M162 de la pantalla HMI. Dichas activaciones se dan por la activación de las etapas 1 o 2 o 4 o 5.



La línea 11 activa la salida Y2 (Led de bandeja superior) a partir de la transición de las etapas 2 o 3 o 4.

La línea 15 activa la salida Y3 (Led de puerta superior) a partir de la transición de las etapas 2 o 3 o 5.

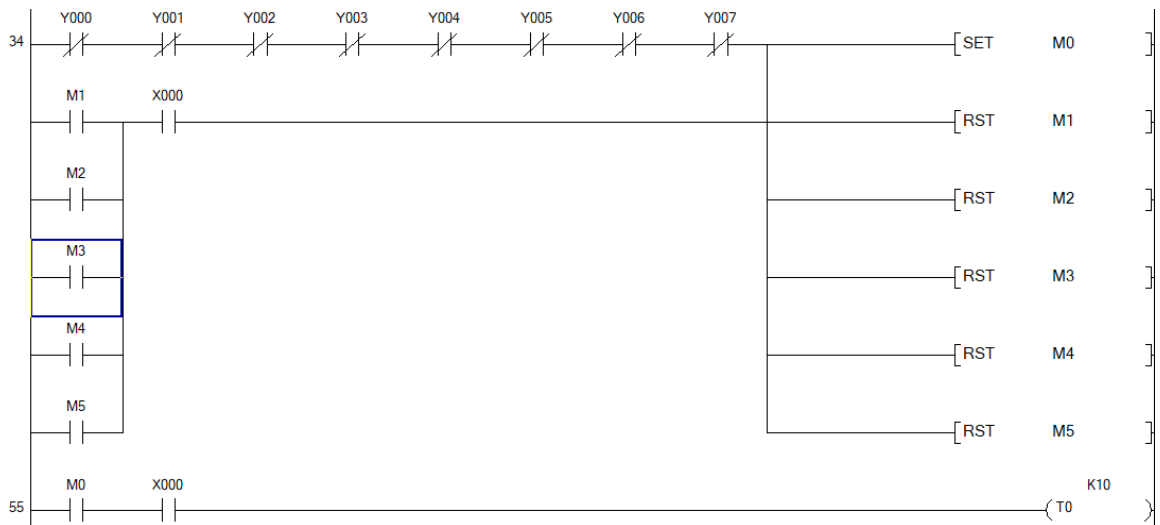


La línea 19 activa la salida del actuador neumático, mediante la válvula direccional a partir de la activación de la etapa 3.

La línea 21 activa la salida Y5 la cual es la entrada del actuador neumático, a partir de la activación de cualquiera de las etapas 1, 2, 4 o 5.

Las líneas 26 y 30 presentan la activación de las cerraduras inferior y superior para la seguridad de los moldes macho y hembra de la máquina.

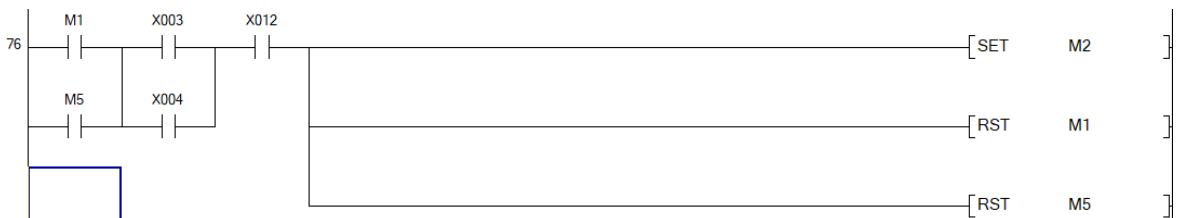
A continuación, se presenta la programación del Ladder secuencial, para la transición de las etapas.



Inicialmente la máquina se encuentra con todas las salidas inactivas como lo muestra la línea 34, por lo que se inicia la etapa 0 y se hace reset del resto de etapas. Si se está en las etapas 1, 2, 3, 4 o 5 y se activa la salida X0 que es el On/off del sistema, se regresa nuevamente a la etapa 0.



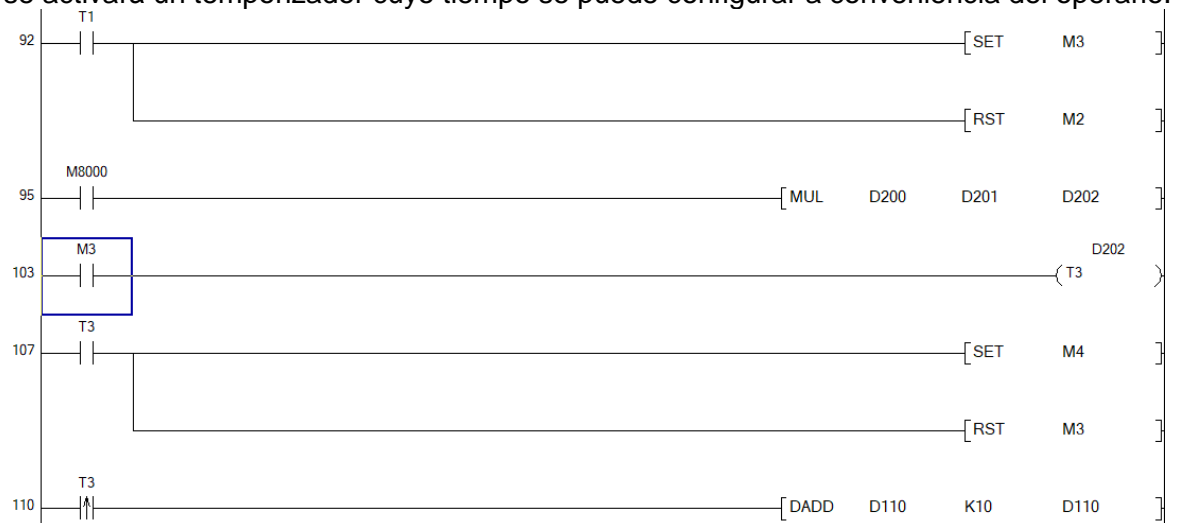
Si se está en la etapa 0 y se presiona por 1 segundo el botón On/off, se hace la transición a la etapa 1 y se desactivan el resto de las etapas. Si se está en las etapas 2, 3, 4 o 5 y se presiona las entradas X10 (pulsador para soltar las bandejas superiores), M172 o X6 (parada de emergencia) se darán igualmente las condiciones de las etapas descritas.





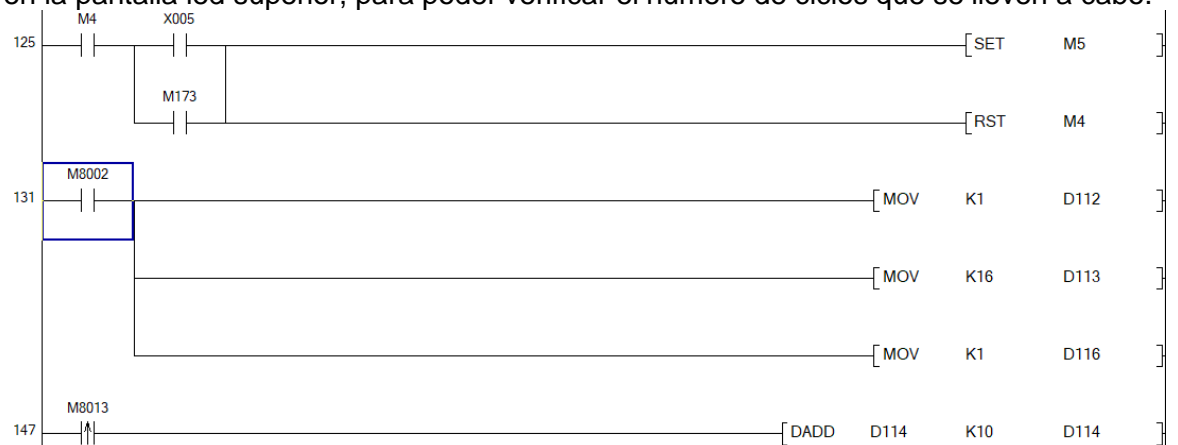
Si se está en la etapa 1 o 5 y se presenta la activación de las entradas X3 o X4 (finales de carrera) además de la activación de la entrada X12 (final de carrera de la puerta superior) se inicia la etapa 2 y se desactiva la etapa 1 y 5.

Al activarse la etapa 2 y las salidas X7 o M171 (pulsador de inicio para proceso de embutado) se activará un temporizador cuyo tiempo se puede configurar a conveniencia del operario.



En la línea 92, el temporizador T1 activa la etapa 3 y desactiva la etapa 2. La línea 95 realiza la multiplicación del tiempo (en seg) del valor que ingrese el operario en la HMI para el tiempo de prensado en el ciclo. La línea 107 presenta la activación, a partir del tiempo configurado por el operario, de la etapa 4.

La línea 110 cuenta los pulsos de subida presentados para el temporizador T3 y los muestra en la pantalla led superior, para poder verificar el número de ciclos que se lleven a cabo.



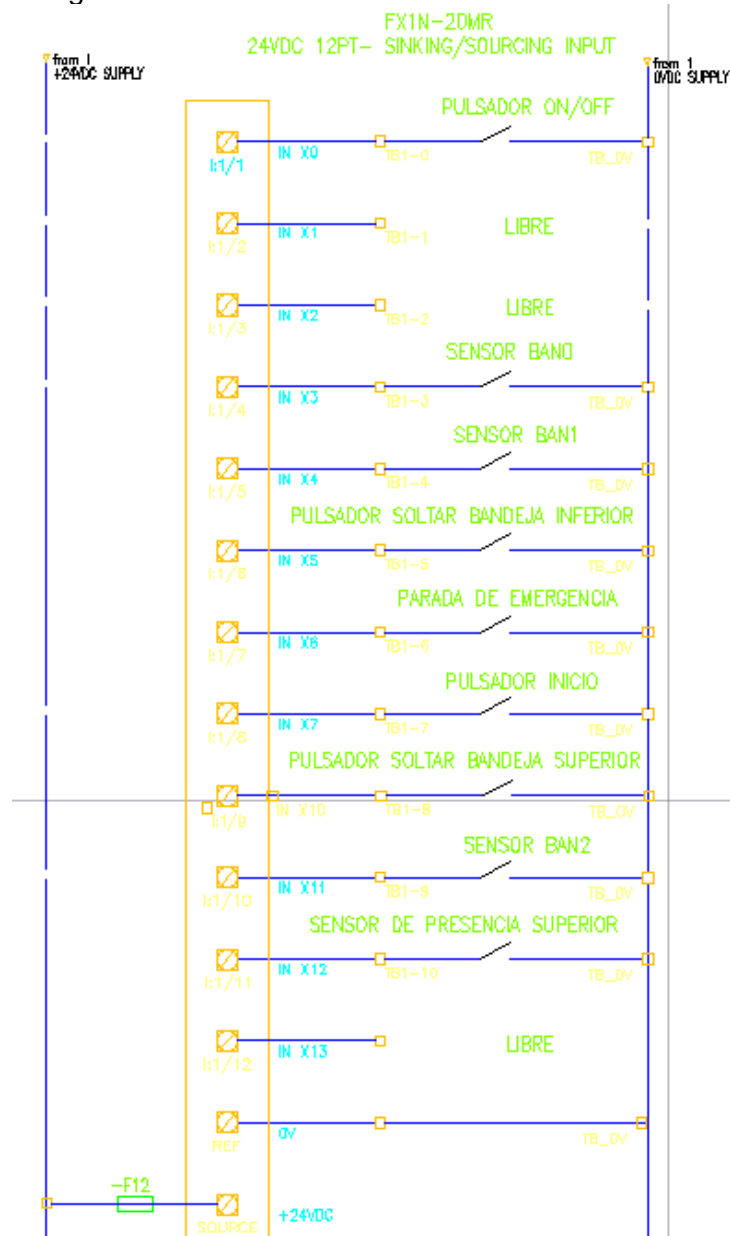
Luego del proceso de embutido, en la línea 125 se da la transición de la etapa 4 a la 5 a partir de la activación de la entrada X5 o M173, los cuales son pulsadores que permitirán soltar la bandeja inferior. La línea 131 y 147 presentan la configuración para el conteo en la HMI del tiempo de encendido de la máquina.

ANEXO D

Planos del sistema de control:

Se describe en esta sección los planos de conexionado para el prototipo, teniendo en cuenta la etapa de control; donde se realizó en el software AutoCAD los planos eléctricos del módulo de entradas y salidas del PLC FX1N-20MR acorde a las conexiones y cableado físico realizado para las pruebas de validación del sistema.

Conexión entradas digitales del PLC



Conexiones salidas digitales del PLC

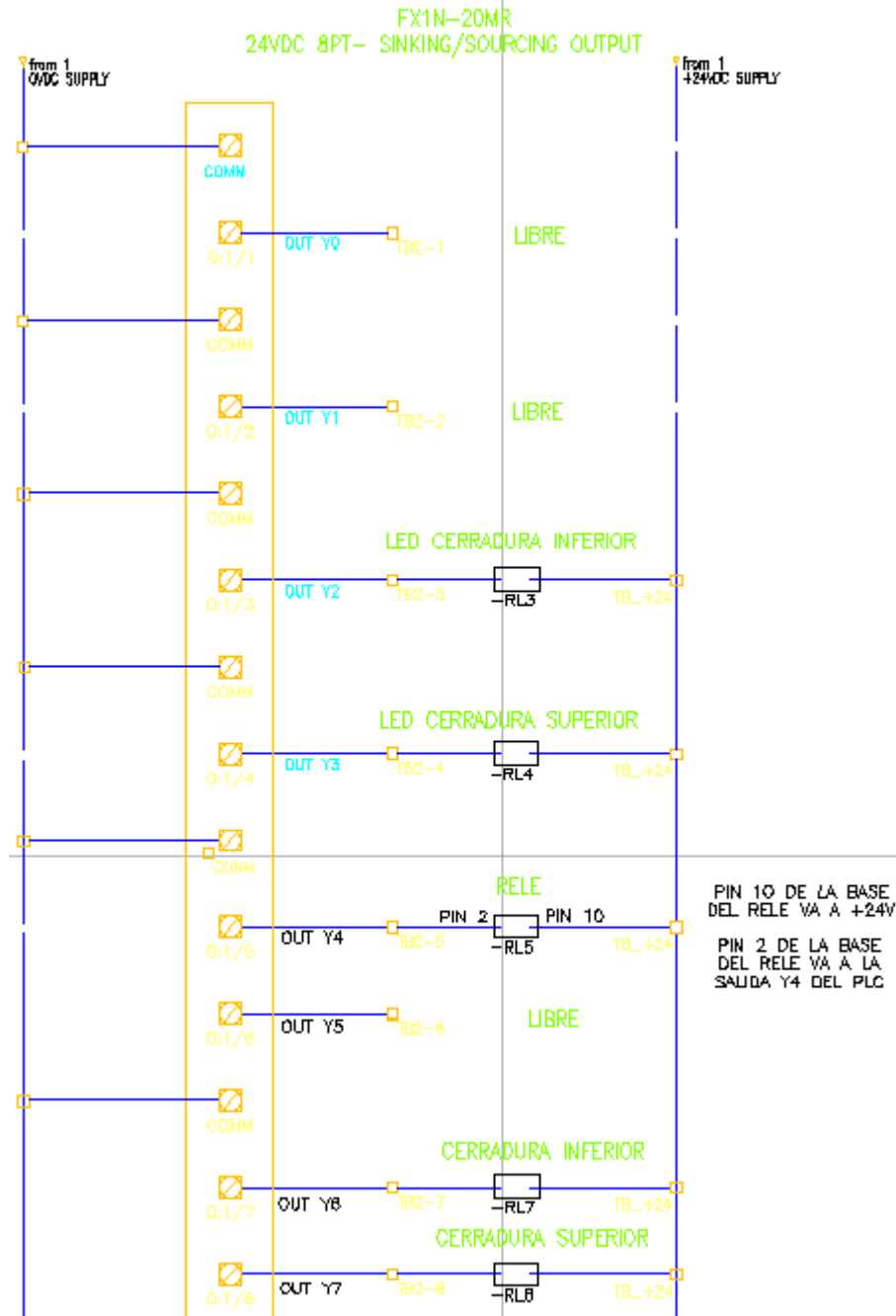
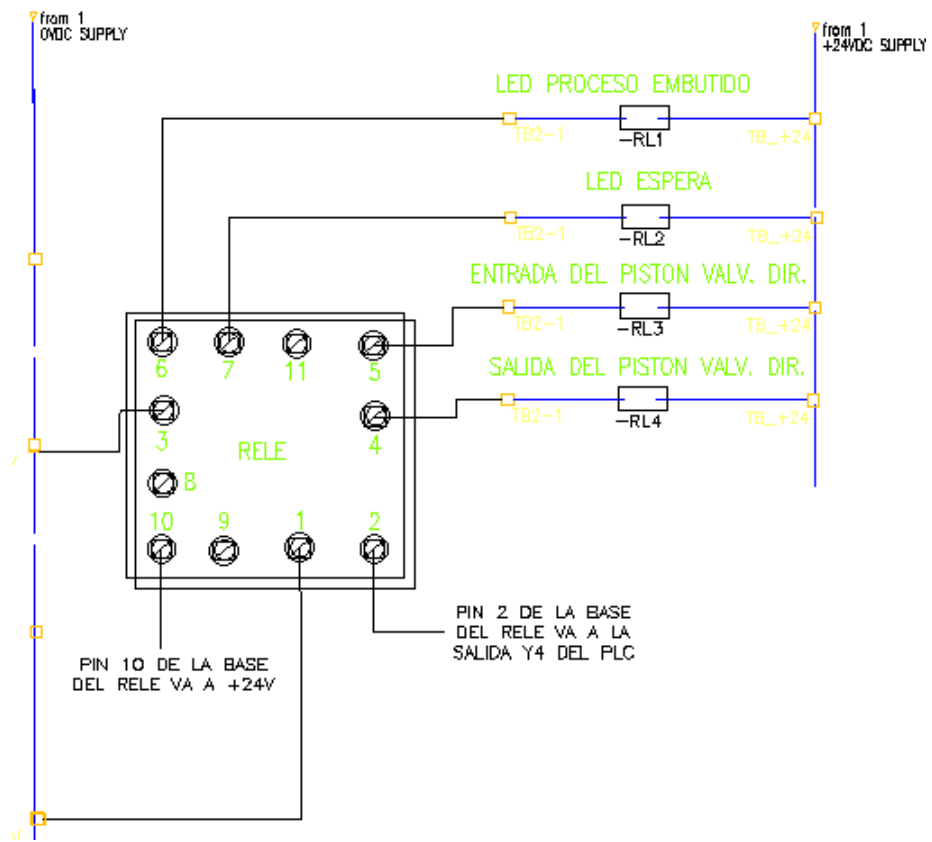



Diagrama de conexiones del relé de 11 pines 24 VDC

Por otra parte, se realizó el plano de la etapa de potencia, donde se implementó un relé de 11 pines de activación a 24 VDC, para protección del PLC debido a los altos picos de corriente que se puedan presentar dadas las condiciones de funcionamiento de algunos actuadores del sistema.

CONEXIONES RELE



ANEXO E



Girón, julio 2021

Cordial saludo;

El día 13 de julio del 2021 tuve la oportunidad de visitar el taller donde se encuentra ubicado el equipo para hacer las canastas de patacón y el patacón pisado. Me explicaron, las etapas, el proceso y funcionamiento del equipo; y yo lleve algunas muestras de plátano pintón para realizar las pruebas.

OBSERVACIONES

Estéticamente, el equipo tiene una buena presentación estética y es compacto; además es robusto y cumple con la normativa INVIMA para el procesamiento de alimentos; siendo gran parte de la máquina construida en acero inoxidable y polietileno HD.

Al momento de elaborar las canastas de patacón, inicialmente empezamos con una sola canasta por ciclo, donde se configuró el compresor a la presión Necesaria. El resultado final para el producto fue bueno y se obtuvo la geometría requerida.

Cuando utilizamos el molde completo para hacer las 4 canastas, el compresor fue configurado a una presión mayor y la maquina tuvo la fuerza suficiente para elaborar las canastas en el ciclo. Además, las canastas que salieron no presentaron defectos.

Considero que a nivel general el equipo está completo al 95%; sin embargo, los ajustes que requiere el equipo son mínimos, como el ajuste de la tapa de la parte electrónica y las pegatinas para los botones de la máquina.

Agradezco su atención,

Atentamente.

Eduardo Mantilla Parra

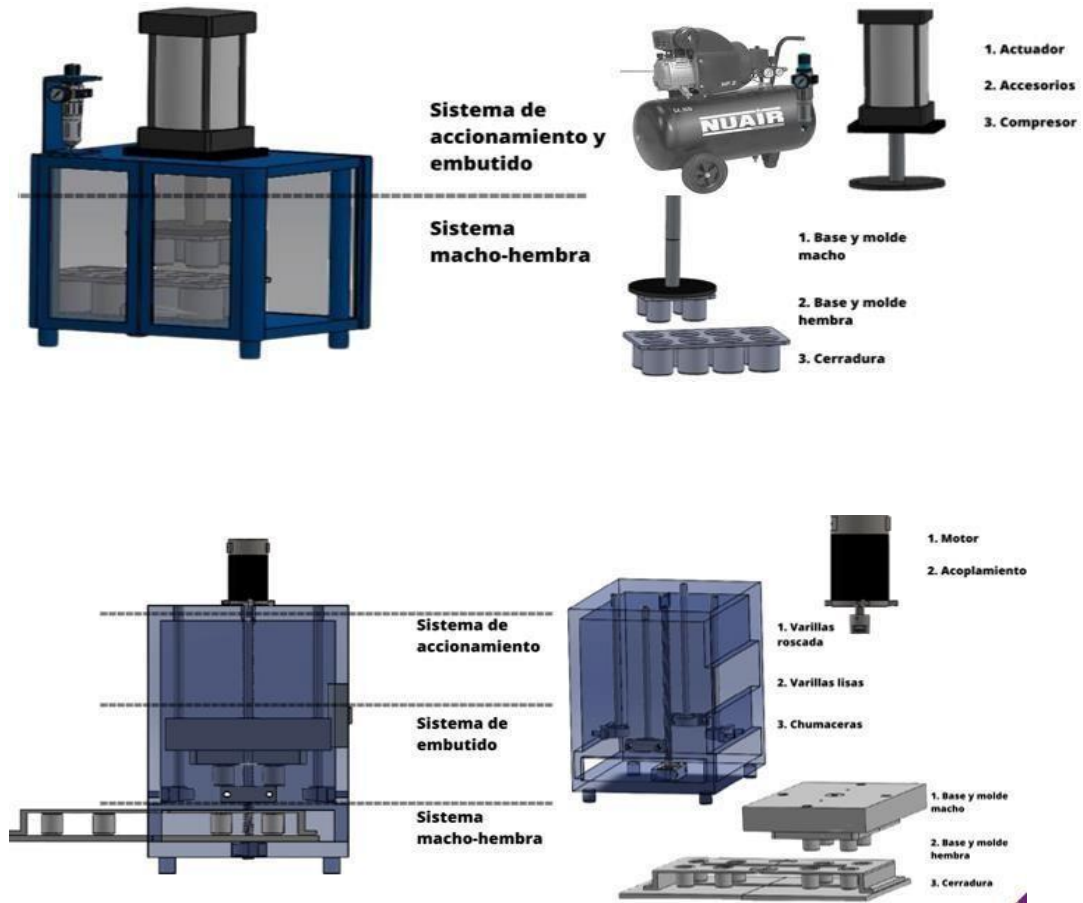
EDUARDO MANTILLA PARRA
Representante legal.
CC 1.095.915.815
PATACOMA EXPRESS sas

PATACOMA EXPRESS S.A.S
NIT. 901.231.027-8
Cll 18 26-13 Girón, Santander
eduardomantillaparra@gmail.com
3102983190-6532526
R.L. Eduardo Mantilla Parra

Se obtuvo por parte del cliente la carta de aceptación del prototipo construido, donde se indicaron observaciones aceptables del trabajo realizado, mejorando considerablemente el nivel de producción y disminuyendo la complejidad del proceso y gastos adicionales por pérdida de materia prima.

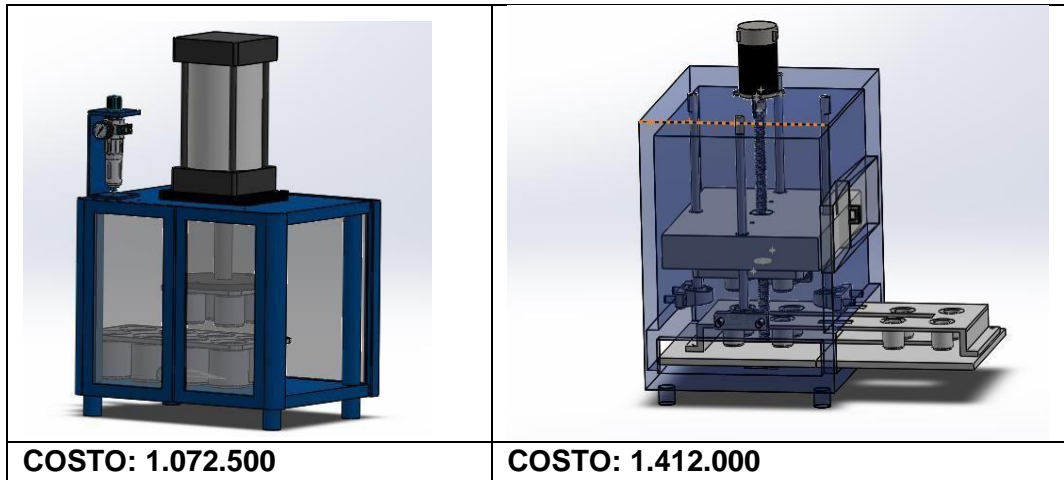
ANEXO F

Ya culminada la fase de diseños para el sistema de accionamiento, se realiza una tabla presupuestal de los resultados obtenidos:



**SISTEMA DE ACCIONAMIENTO
NEUMÁTICO**

**SISTEMA DE ACCIONAMIENTO
ELECTROMECAÁNICO**



Nota: es importante recalcar que los costos corresponden solamente al presupuesto necesario para cada sistema de accionamiento, sin adicionar la estructura ni el sistema de bandejas del prototipo. Para tener un rango más amplio de selección del sistema de accionamiento a partir de los dos diseños realizados, se procedió a realizar una matriz QFD.

| Rating de relevancia | REQUERIMIENTOS FUNCIONALES → | ASPECTOS DE DISEÑO | | | | | | | | puntacion ponderada | Ranking |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|---------|
| | | Precisión de carrera | Resistencia estructural del mecanismo | Complejidad y acople del mecanismo | Costos de montaje | Espacio reducido de trabajo | Amplio rango de carrera | Rápida inversión de giro | Facilidad de bloqueo de giro | | |
| 3 | Tornillo vertical con seguidor | 3 | 3 | 1 | 3 | 9 | 1 | 1 | 1 | 66 | 2 |
| 4 | Cilindro neumático | 9 | 3 | 9 | 9 | 3 | 3 | 9 | 3 | 192 | 1 |
| | puntuación de importancia técnica | 45 | 21 | 39 | 45 | 39 | 15 | 39 | 15 | 258 | |
| | Importancia % | 17% | 8% | 15% | 17% | 15% | 6% | 15% | 6% | | |
| | Rango de prioridades | 1 | 6 | 3 | 1 | 3 | 7 | 3 | 7 | | |

Teniendo en cuenta las variables que se decidieron como pertinentes desde el diseño funcional de la máquina y asignándole un peso determinado a la importancia de las funciones principales y requerimientos de la maquina se obtuvo que la maquina neumática es la mejor opción, con la cual se obtiene un mejor precio, mayor amplio rango de carrera, además de ofrecer una rápida inversión de giro.

ANEXO G

En esta sección, se describen algunas de las consideraciones más importantes tenidas en cuenta para el tratamiento y mecanizado del material implementado en la estructura mecánica del prototipo (acero inoxidable), teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa para la manipulación del tipo de materia prima de carácter alimenticio.

Ficha técnica del acero inoxidable

| TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE | | SERIE 300 | |
|--|---|--|---|
| | | Acero al Cromo - Níquel | Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno |
| DESIGNACIÓN | TIPO AISI | 304 | 316 |
| | COMPOSICIÓN QUÍMICA | C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%* | C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%* |
| PROPIEDADES FÍSICAS | PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm ³) | 7.9 | 7.95 - 7.98 |
| | MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²) | 193,000 | 193,000 |
| | ESTRUCTURA | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO |
| | CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K) | 500 | 500 |
| | CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K) | 15 / 16 | 15 / 16 |
| | COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 ⁶ C ⁻¹) | 16.0 - 17.30 | 16.02 - 16.5 |
| | INTERVALO DE FUSIÓN (C) | 13981454 | 13711398 |
| PROPIEDADES ELÉCTRICAS | PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO | AMAGNÉTICO 1.008 | AMAGNÉTICO 1.008 |
| | CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA (μΩm) A 20C | 0.72 - 0.73 | 0.73 - 0.74 |
| PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C | DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO | 130150 / 180330 | 130185 / - |
| | DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO | 7088 / 1035 | 7085 / - |

| | | | | |
|---------------------------------------|--|---|-----------------------|-----------------------|
| | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO DEFORMACIÓN EN FRÍO | Rm (N/mm ²) | 520 - 720 / 540 - 750 | 540690 / - |
| | ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO | Rp (N/mm ²) | 210 / 230 | 205410 / - |
| | ELONGACIÓN (A ₅) MIN | (%) | ≥ 45 | |
| | RESILIENCIA KCUL / KVL | (J/cm ²) | 160 / 180 | 160 / 180 |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE | ELASTICIDAD | RP (0.2) A 300C/400C/500C (N/mm ²) | 125 / 97 / 93 | 140 / 125 / 105 |
| | | RP (1) A 300C/400C/500C (N/mm ²) | 147 / 127 / 107 | 166 / 147 / 127 |
| | LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C | σ ₁ /10 ⁵ /t (N/mm ²) | 68 / 42 / 14.5 / 4.9 | 82 / 62 / 20 / 6.5 |
| TRATAMIENTOS TÉRMICOS | RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL | (OC) | ENFR. RÁPIDO 10081120 | ENFR. RÁPIDO 10081120 |
| | TEMPLADO | | NO ES POSIBLE | NO ES POSIBLE |
| | INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL | (C) | 1200 / 925 | 1200 / 925 |
| | FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE | | 925 / 840 | 925 / 840 |
| OTRAS PROPIEDADES | SOLDABILIDAD | | MUY BUENA | MUY BUENA |
| | MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112 | | 45% | 45% |
| | EMBUTICIÓN | | MUY BUENA | BUENA |
| * Son aceptables tolerancias de un 1% | | | | |

Recomendaciones para trabajar acero aisi 304

- Tratamiento térmico

| | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------|---|
| Trabajo caliente (°C) en | Enfriamiento | Tratamiento térmico (°C) | Enfriamiento | Estructura |
| 1150 – 850 | Aire | 1000 – 1100 | Agua, aire forzado | Austenítica con un contenido menor de ferrita |

- **Recomendaciones sobre mecanizado**

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales.

- **Taladro con broca HSS**

| | | | |
|-------------------------------|------|------|------|
| Diámetro | 20 | 30 | 40 |
| Velocidad de corte (vc) m/min | 200 | 200 | 200 |
| Avance (f) mm/r | 0.01 | 0.12 | 0.15 |

- **Torneado**

| Parámetros de corte | Torneado con metal duro | | Torneado con acero rápido |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|
| | Torneado de desbaste | Torneado fino | Torneado fino |
| Velocidad de corte (vc) m/min | 170 – 145 | 160 – 210 | 25 – 45 |
| Avance (f) mm/r | 0.2 – 0.4 | 0.1 – 0.2 | 0.1 – 0.5 |
| Profundidad de corte (ap) mm. | 1 – 4 | 0.5 – 1 | 0.5 - 3 |
| Mecanizado grupo ISO | M20 – M30 | M10 | - |

- **Fresado con metal duro**

| Parámetros de corte | Fresado con metal duro | |
|-------------------------------|------------------------|--------------|
| | Fresado de desbaste | Fresado fino |
| Velocidad de corte (vc) m/min | 60 – 120 | 100 – 155 |
| Avance (f) mm/r | 0.2 – 0.3 | 0.2 |
| Profundidad de corte (ap) mm. | ≤ 4 | ≤ 0.6 |
| Mecanizado grupo ISO | M20 – M30 | M10 |

Ficha técnica Polietileno de Alta densidad (HDPE)

Propiedades ASTM e ISO

| Físicas | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Gravedad Específica | | 0.96 | ASTM D792 |
| Flujo de Masa (fundida) | | | ASTMD1238 |
| | 190°C/2.16 Kg | 0.8 g/10 min | |
| | 190°C/21.6 Kg | 57 g/10 min | |
| Resistencia al agrietamiento por tensión ambiental | | | ASTM D 1693 |
| | 122 °F, 100% Igepal, F50 | 20 hr | |
| Mecánicas | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
| Resistencia a la tracción | | 4600 psi | ASTM D638 |
| Resistencia a la rotura | | 3500 psi | ASTM D638 |
| Rendimiento de alargamiento a la tracción | | 7 % | ASTM D638 |
| Rotura de alargamiento por tracción | | 1000 % | ASTM D638 |
| Módulo de flexión -2% secante | | 188000 psi | ASTM d790b |
| Impact | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
| Resistencia a la tracción | | 40 ft-lb/in ² | ASTM D1822 |
| Dureza | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
| Durómetro Dureza | | 66 | ASTM D2240 |
| Térmica | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
| Temperatura de deflexión bajo carga | | 169 °F | ASTMD648 |
| Tempratura de fragilidad | | < -105 °F | ASTM D746 |
| Temperatura de reblandecimiento Vicat | | 268 °F | ASTMD1525 |
| Térmica | Unidad de Valor Nominal | Unidad | Método de Prueba |
| Temperatura de Fusión | | 271 °F | Interno |
| Temperatura Pico de Cristalización | | 248 °F | Interno |