



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL  
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS  
APLICADAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA AUTOMATIZADA  
PARA EL EMPACADO DE CÁPSULAS DE PINTURA  
“PAINTBALLS” PARA LA COMPAÑÍA NA&NA CIA.LTDA.**

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

**CÉSAR MAURICIO NARANJO PAREDES**

**DIRECTOR: ING. JENNY CABASCANGO, MSc.**

**D. M. Quito**

**2018**

## **DECLARACIÓN**

Yo CÉSAR MAURICIO NARANJO PAREDES, con cedula de ciudadanía N°1721041422 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

CÉSAR MAURICIO NARANJO PAREDES  
CI.1721041422

# CERTIFICACIÓN

El docente de la facultad de ciencias exactas y tecnologías aplicadas ingeniero CABASCANGO CALDERON JENNY ELIZABETH MSc.

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA AUTOMATIZADA PARA EL EMPACADO DE CÁPSULAS DE PINTURA “PAINTBALLS” PARA LA COMPAÑÍA NA&NA CIA.LTDA.”, fue desarrollado por el Sr NARANJO PAREDES CÉSAR MAURICIO, ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

---

JENNY CABASCANGO

CI 1718520032

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por todas las bendiciones y circunstancias que ha puesto en mi camino formando mi carácter, paciencia y tolerancia para llegar a ser un hombre de bien.

Agradezco infinitamente a mis padres que han sido el pilar fundamental en mi vida, mi motivación, apoyo y ejemplo en cada una de las etapas de mi vida.

Agradezco a mi familia y amigos que han sido parte de cada una de las experiencias vividas en el transcurso de la vida de estudiante en la UIDE

Agradezco a todos los maestros que supieron inculcar y crear en mi interés de aprendizaje en las diferentes asignaturas y también a los profesores que no, porque ellos me motivaron a buscar la autoeducación y el aprendizaje personal logrando obtener vastos conocimientos para el desarrollo de este y muchos proyectos que en el futuro se presenten.

## **DEDICATORIA**

Dedico el desarrollo de este proyecto de titulación a todas las personas que han colaborado con mi persona en el transcurso mi carrera y formación personal, de manera especial a mis padres Lucy y Germán que siempre han sido un pilar fundamental y apoyo para todo en mi vida, a mis hermanos que han estado pendientes de mi todo el tiempo, a mi Tío Augusto que es quien siempre ha creído en mí y mi capacidad de superación, ahora también le dedico esto a mi esposa Estefi y al motor de mi vida César Emilio.

CÉSAR MAURICIO NARANJO PAREDES

# ÍNDICE CONTENIDO

ABREVIATURAS	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I.....	1
MÁQUINA DE EMPACADO .....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE EMPACADO .....	1
1.2.1 PROCESO DEL EMPACADO DE CÁPSULAS DE PINTURA ECSPORTS	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5 HIPÓTESIS.....	4
1.6 MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO A EMPACAR .....	4
1.6.2 DEFINICIÓN DEL EMPAQUE.....	6
1.6.3 TIPOS DE LAS MÁQUINAS DE EMPACADO.....	6
1.6.4 TIPOS DE LAS MÁQUINAS CLASIFICADORAS.....	10
1.6.5 TIPOS DE LAS MÁQUINAS CONTADORAS O AGRUPADORAS COMERCIALES.....	11
1.6.6 TIPOS DE MÁQUINAS EMPACADORAS COMERCIALES .....	13
1.6.7 BANDAS TRANSPORTADORAS .....	15
CAPÍTULO II.....	17
ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA LÍNEA DE EMPACADO DE CÁPSULAS .....	17
2.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA A DETERMINAR .....	17
2.2 GESTIÓN DE CALIDAD .....	18
2.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD QFD.....	19
2.3.1 OBTENCIÓN DE LA VOZ DEL CLIENTE .....	19

2.3.2 OBTENCIÓN DE LA VOZ DEL INGENIERO.....	20
2.3.3 ESTRUCTURAR LAS NECESIDADES Y DESEOS DEL CLIENTE .....	21
2.3.4 DESARROLLO DE LA CASA DE LA CALIDAD .....	22
2.3.5 FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	23
2.4 DISEÑO CONCEPTUAL .....	25
2.4.1 ANÁLISIS FUNCIONAL .....	25
2.4.2 DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES .....	26
2.5 MATRIZ MORFOLÓGICA.....	28
2.5.1 OPCIÓN: RUTA 1 .....	30
2.5.2 OPCIÓN: RUTA 2 .....	30
2.5.3 OPCIÓN: RUTA 3 .....	30
2.6 MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS.....	31
2.6.1 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: COSTO.....	32
2.6.2 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: TAMAÑO .....	33
2.6.3 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: MANTENIBILIDAD.....	33
2.6.4 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: FUNCIONALIDAD .....	34
2.6.5 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: PESO .....	35
2.6.6 ANÁLISIS FINAL PARA SELECCIONAR EL DISEÑO DE LA MÁQUINA .....	35
2.7 ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	36
2.7.1 MÓDULO 1: MÁQUINA SELECTORA DE CÁPSULAS VACÍAS Y LLENAS	37
2.7.2 MÓDULO 2: BANDA DE INSPECCIÓN Y ALIMENTADOR ELEVADOR .....	38
2.7.3 MÓDULO 3: MÁQUINA AGRUPADORA DE CÁPSULAS .....	39
2.7.4 MÓDULO 4: ALIMENTADOR CIRCULAR.....	40
2.7.5 MÓDULO 5: MÁQUINA FORMADORA LLENADORA Y SELLADORA FFS .	40
CAPÍTULO III .....	42
DISEÑO MECATRÓNICO.....	42
3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	43
3.2 DISEÑO DE MÁQUINA SELECTORA DE CÁPSULAS .....	58
3.2.1 DISEÑO DEL SELECTOR DE CÁPSULAS .....	59
3.3 DISEÑO DE BANDA PARA INSPECCIÓN Y ALIMENTADOR VERTICAL .....	69
3.3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	69

3.3.2. DISEÑO BANDA DE INSPECCIÓN Y ELEVADOR DE CÁPSULAS.....	73
3.4 DISEÑO DE AGRUPADOR DE CÁPSULAS .....	83
3.5 DISEÑO DE ALIMENTADOR CIRCULAR .....	84
3.6 DISEÑO DE FFS .....	85
3.6.1 MECANISMOS Y TRACCIÓN DE LA FFS .....	85
3.7 SELECCIÓN DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE LA LÍNEA DE EMPACADO.....	105
3.7.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC .....	105
3.7.2 INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI) .....	106
3.7.3 SELECCIÓN SENSOR DETECTOR DE METALES PARA RECORRIDOS DEL PROCESO .....	107
3.7.4 SELECCIÓN SENSOR DETECTOR DE PLÁSTICOS PARA VERIFICAR NIVELES EN LA LÍNEA DE EMPACADO .....	108
3.7.5 SELECCIÓN DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.....	109
3.7.6 SELECCIÓN ACCIONAMIENTO TERMICO DE MORDAZAS PARA SELLADO .....	110
3.7.7 SELECCIÓN CONTROLADOR DE TEMPERATURA .....	111
3.6.8 FUENTE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA .....	112
3.6.10 ACCIONAMIENTO ELÉCTRONEUMÁTICO .....	115
3.7 DISEÑO GABINETE DE CONTROL Y HMI .....	116
3.8 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	117
3.9 SISTEMA DE CORTE .....	119
CAPÍTULO IV.....	120
CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	120
4.1 CONSTRUCCIÓN .....	120
4.1.1 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELECTOR DE CÁPSULAS .....	123
4.1.2 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO BANDA ELEVADORA E INSPECCIÓN .....	124
4.1.3 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO AGRUPADOR .....	126
4.1.4 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO ALIMENTADOR.....	129
4.1.5 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELLADO VERTICAL.....	131
4.1.6 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELLADO HORIZONTAL .....	132

4.1.7 ENSAMBLAJE DE MÁQUINA FFS .....	133
4.2 PRUEBAS ESPECÍFICAS DEL SISTEMA.....	135
4.3 PRUEBAS DE PROCESO DE PRODUCTO.....	139
4.3.1 PRUEBAS CONTROLADAS DEL MÓDULO 1 CLASIFICADOR DE CÁPSULAS.....	139
4.3.2 PRUEBAS DEL MÓDULO 2 BANDA DE INSPECCIÓN Y ELEVADORA....	141
4.3.3 PRUEBAS DEL MÓDULO 3 AGRUPADOR DE CÁPSULAS .....	143
4.3.4 PRUEBAS DEL MÓDULO 4 ALIMENTADOR CIRCULAR .....	143
4.3.5 PRUEBAS DEL MÓDULO 5 FFS.....	144
4.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE EMPACADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	149
CONCLUSIONES .....	154
RECOMENDACIONES .....	155
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de proceso de fabricación de cápsulas .....	2
Figura 1.2. Presentación de cápsulas de pintura [1].....	5
Figura 1.3. Caja comercial de 2000 cápsulas, 4 empaques (500 cápsulas por caja) [2]..	5
Figura 1.4. Presentación de cápsulas a nivel mundial.....	6
Figura 1.5 Clasificación de máquinas empacadoras .....	7
Figura 1.6. Empacadora volumétrica [4].....	8
Figura 1.7 Empacadora másica [5].....	9
Figura 1.8. Empacadora mixta multicabezal [6] .....	10
Figura 1.9. Tamiz vibratorio clasificador [7] .....	10
Figura 1.10. Tamiz vibratorio circular [8]. .....	11
Figura 1.11. Contadora de cápsulas CSA-2 [9] .....	11
Figura 1.12. Contadora de cápsulas CT100SP [10] .....	12
Figura 1.13. Máquina DS-420BZ FFS [11] .....	13
Figura 1.14. Empacadora automática ducto 509 [12]. .....	14
Figura 1.15. Banda transportadora lisa de propulsada por rodillo. [13].....	15
Figura 1.16. Banda transportadora modular propulsada por piñón [14].....	15
Figura 1.17. Banda transportadora vertical de cangilones [15].....	16
Figura 2.1. Diagrama de proceso de línea de empacado de cápsulas .....	17
Figura 2.2. Modelo 3D de la línea de empacado y su distribución en planta .....	18

Figura 2.4. Diagrama funcional Nivel 0 línea de empaqueo de cápsulas.....	25
Figura 2.5. Diagrama funcional Nivel 1 línea de empaqueo de cápsulas.....	26
Figura 2.6. Matriz morfológica de línea de empaqueo de cápsulas .....	29
Figura 2.7. Esquema de la alternativa de solución .....	37
Figura 2.8. Distribución de orificios calibre 17,2mm (0,68 inch).....	38
Figura 2.9. Distribución de orificios calibre 17,2mm (0,68 inch).....	39
Figura 2.10 Distribución de cavidades en alimentador circular.....	40
Figura 2.11. Máquina formadora llenadora y selladora ffs.....	41
Figura 3.1 Línea de empaqueo de cápsulas.....	42
Figura 3.2. Distribución de carga en platillo base .....	45
Figura 3.3 Modelado de sección de análisis.....	46
Figura 3.4. Diagrama X-Y de fuerzas en la sección de análisis.....	47
Figura 3.5 Diagrama de fuerzas Cortantes X-Y.....	47
Figura 3.6. Diagrama de momentos Plano X-Y .....	48
Figura 3.7 Ampliación de tendencia de flexión en platillo base en el punto crítico.....	50
Figura 3.8 Puntos de aplicación de fuerzas y punto de flexión crítica.....	50
Figura 3.9 Modelo 3D, Rodete de soporte y deslizamiento .....	50
Figura 3.10 Esfuerzo cortante .....	51
Figura 3.11 Puntos de contacto de carga transmitida al rodete .....	51
Figura 3.12 Simulación factor de seguridad análisis de cargas .....	52
Figura 3.13 Esquema de fuerzas que actúan sobre rodete .....	53
Figura 3.14 Esquema de fuerzas de rozamiento y torque generado .....	53
Figura 3.15. Fórmula de Inercia cilindro macizo [20] .....	55
Figura 3.16. Análisis gráfico de fórmula de Inercia esfera maciza [21] .....	55
Figura 3.17 Motorreductor [22].....	57
Figura 3.18 Características motor e índice de reductor [22] .....	58
Figura 3.19. Máquina selectora de cápsulas .....	59
Figura 3.20 Patrón de soldadura y longitudes del cordón.....	60
Figura 3.21. Visualización de componentes del filete .....	60
Figura 3.22 Simulación de esfuerzo a compresión por Von Mises .....	62
Figura 3.23 Simulación de factor de seguridad .....	62
Figura 3.24 Simulación de desplazamiento por esfuerzos .....	63
Figura 3.25 Sistema de soplado de cápsulas para clasificación.....	63
Figura 3.26. Boquilla lava tapizados marca JCD .....	66
Figura 3.27 Banda de inspección de calidad y alimentador elevador .....	69
Figura 3.28 Espacios físicos y ubicación del alimentador.....	70
Figura 3.29 Factor de seguridad y análisis de cargas en banda.....	75
Figura 3.30 Diagrama de fuerzas de cada eslabón .....	76
Figura 3.31 Diagrama de fuerzas eslabón inclinado.....	77
Figura 3.32 Torque generado.....	79
Figura 3.33 Datos del motor seleccionado .....	80

Figura 3.34 Diagrama de fuerzas sistema tensor .....	81
Figura 3.35 Agrupador de cápsulas .....	83
Figura 3.36 Alimentador de cápsulas agrupadas .....	84
Figura 3.37 Máquina FFS.....	85
Figura 3.38 Modelo 3D. Módulo de sellado horizontal y carro móvil alimentador .....	89
Figura 3.39 Cilindro 32x12 marca XCPC [28].....	91
Figura 3.40 Diagrama conexión electro neumático .....	94
Figura 3.41 Diagrama de fuerzas sobre ejes verticales .....	95
Figura 3.42 diagrama de apoyo simple con carga de momento [17] .....	96
Figura 3.43 Forma y tamaño de bolsa.....	98
Figura 3.44 Despliegue y distribución de la lámina termosellable .....	99
Figura 3.45 Rollo de plástico termosellable laminar de 25 kg.....	99
Figura 3.46 Simulación de esfuerzos en ducto de alimentación .....	100
Figura 3.47 Deflexión del ducto por la aplicación del cilindro de sellado .....	100
Figura 3.48 Diagrama de colores representativo al factor de seguridad .....	101
Figura 3.49 Cono formador de funda para máquina FFS .....	101
Figura 3.50 Pernos de sujeción de ducto de alimentación .....	102
Figura 3.51 Diagrama de fuerzas ducto de alimentación y cortantes en pernos.....	103
Figura 3.52 Perno cabeza hexagonal templado y revenido .....	104
Figura 3.53 Pernos de sujeción de carro móvil.....	105
Figura 3.54 PLC SIEMENS S7-1200 CPU1212C AC/DC/RLY .....	106
Figura 3.55 Panel HMI KTP400 basic .....	107
Figura 3.56 Sensor inductivo.....	108
Figura 3.57 Sensor capacitivo .....	109
Figura 3.58 Mini relé LY2 .....	110
Figura 3.59 SSR-40 FOTEK.....	111
Figura 3.60 Controlador de temperatura REX-C100 .....	112
Figura 3.61 Fuente de alimentación eléctrica conmutada .....	113
Figura 3.62 Luz piloto 22mm.....	114
Figura 3.63 Selector de dos posiciones de 22mm.....	115
Figura 3.64 Paro de emergencia tipo hongo 22mm.....	115
Figura 3.65 Electroválvula 5/2 12vdc .....	116
Figura 3.66 Disposición de componentes en el gabinete electrónico .....	117
Figura 3.67 Flujograma de programa PLC .....	118
Figura 3.68 Sistema de corte (a) cuchilla cortando (b) cuchilla retraída [33] .....	119
Figura 4.1 Línea de empaqueo de cápsulas.....	120
Figura 4.2 Panel de control general de los módulos.....	121
Figura 4.3 Módulo 1 Clasificador de cápsulas a) parte exterior b) parte interna .....	123
Figura 4.4 Diagrama de funciones para ensamble Módulo 1 Clasificador de cápsulas	124
Figura 4.5 Módulo 2 Banda de inspección de calidad y elevador de producto .....	125

Figura 4.6 Diagrama de funciones para el ensamblaje de la banda de inspección y elevador de producto .....	126
Figura 4.7 Módulo 3 Agrupador de cápsulas .....	127
Figura 4.8 Diagrama de funciones Módulo agrupador.....	128
Figura 4.9 Módulo 4 y sus partes .....	129
Figura 4.10 Diagrama de funciones Módulo Alimentador .....	130
Figura 4.11 Diagrama de funciones Sellado horizontal .....	131
Figura 4.12 Diagrama de funciones Sellado horizontal .....	132
Figura 4.13 Módulo 5 y sus partes principales .....	133
Figura 4.14 Diagrama de funciones para ensamblaje de la máquina FFS.....	134
Figura 4.15 Patrones de entrada al clasificador .....	139
Figura 4.16 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 1.....	140
Figura 4.17 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 2.....	140
Figura 4.18 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 3.....	141
Figura 4.19 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 4.....	141
Figura 4.20 cápsulas vacías separadas por el módulo 1 y productos defectuosos separados por el operario .....	142
Figura 4.21 Resultados de prueba del alimentador elevador e inspección de calidad	142
Figura 4.22 Resultados de pruebas de agrupamiento .....	143
Figura 4.23 Alimentador circular con producto previamente agrupado.....	144
Figura 4.24 prueba de sellado DEFICIENTE.....	146
Figura 4.25 prueba de sellado SEMI SELLADO.....	147
Figura 4.26 prueba de sellado ACEPTABLE .....	147
Figura 4.27 prueba de sellado ÓPTIMO.....	147
Figura 4.28 prueba de sellado DERRETIDO .....	148
Figura 4.29 Flujograma de configuración y puesta en marcha .....	149
Figura 4.30 Capacidad de proceso de producto por módulos .....	151
Figura 4.31 Empaque realizado por línea de empaque de cápsulas .....	152
Figura 4.32 Línea automática de empaque de cápsulas .....	153

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1.1. Especificaciones empaedora de cápsulas CSA-2.....	12
Tabla 1.2. Especificaciones empaedoras de cápsulas CT100SP .....	13
Tabla 1.3. Características máquina FFS Dession DS-420 [10].....	14
Tabla. 2.1. Especificaciones técnicas de la línea de empaque de cápsulas. ....	24
Tabla.2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio .....	32
Tabla. 2.3. Evaluación del peso específico del criterio: Costo .....	33

Tabla 2.4. Evaluación del peso específico del criterio: Tamaño .....	33
Tabla 2.5. Evaluación del peso específico del criterio: Mantenibilidad .....	34
Tabla 2.6. Evaluación del peso específico del criterio: Funcionalidad .....	34
Tabla 2.7. Evaluación del peso específico del criterio: Peso .....	35
Tabla 2.8. Conclusiones y definición de alternativa .....	35
Tabla. 2.9. Alternativa seleccionada.....	36
Tabla 3.1 Tabla de distribución de pesos en clasificador de cápsulas.....	46
Tabla 3.2 Inercias de componentes en el selector .....	56
Tabla 3.3 Resultados de velocidades y aceleraciones .....	57
Tabla 3.4 Resistencia del material de aporte en soldadura .....	61
Tabla 3.5 Coeficientes $W_i$ , $W_o$ para roscas estándar .....	82
Tabla 3.6 Consideraciones de diseño .....	83
Tabla 3.7 Inercia de componentes rotatorios .....	87
Tabla 3.8 Resultados de velocidades y aceleraciones .....	88
Tabla 3.9 Pesos del carro móvil .....	89
Tabla 3.10 Presión nominal y fuerza de cilindro por tamaño .....	91
Tabla 3.11 Presión nominal y fuerza de cilindro por tamaño .....	93
Tabla 3.12 Características principales PLC.....	106
Tabla 3.13 Características Panel KTP400.....	107
Tabla 3.14 Características Sensor inductivo .....	108
Tabla 3.15 Características Sensor capacitivo.....	109
Tabla 3.16 Características Mini Relé.....	110
Tabla 3.17 Características SSR-40DA .....	111
Tabla 3.18 Características Controlador de temperatura REX-C100 .....	112
Tabla 3.19 Análisis de carga de la línea de empaçado .....	113
Tabla 3.20 Distribución de fuentes de poder .....	113
Tabla 3.21 Características Controlador Termocupla tipo K .....	114
Tabla 3.22 Listado de componentes del gabinete de la línea de empaçado.....	116
Tabla 4.1 Simbología de proceso de construcción y ensamble .....	121
Tabla 4.2 Funciones de proceso de construcción y ensamble .....	122
Tabla 4.3 Protocolo de pruebas específicas de la línea de empaçado .....	135

Tabla 4.4 resultados protocolo de pruebas y tiempos de sellado de la funda .....	145
Tabla 4.5 Tiempos de procesamiento de producto en la línea de empackado .....	150

## ABREVIATURAS

PB Paintball

## RESUMEN

El proyecto de titulación que se describe a continuación corresponde al diseño y construcción de una línea de empackado para cápsulas que se implementa en la Fabrica ECSPORTZ, industria Ecuatoriana dedicada a la fabricación de cápsulas que requiere de esta automatización para la línea de producción de paintballs.

En este documento se plasma la información respectiva sobre el desarrollo de la Línea de Empackado de Cápsulas, dividiéndose en capítulos de la siguiente manera:

*Capítulo uno:* Definición del problema, objetivos, y el estado del arte.

*Capítulo dos:* Selección de alternativas y delimitación de la idea a utilizar para las máquinas o mecanismos que compondrán la línea de empackado.

*Capítulo tres:* Desarrollo de la línea de empackado, diseño y dimensionamiento de los componentes o máquinas

*Capítulo cuatro:* Se presenta la implementación de las partes, componentes mecánicos, electrónicos, y de software que permiten ejecutar el empackado con las pruebas de funcionamiento, conclusiones y recomendaciones de este desarrollo.

Se realizó la línea de empackado acorde a los diseños y se implementó en planta obteniendo resultados positivos, automatizando el proceso de empackado y permitiendo que el proceso sea eficiente y eficaz, reduciendo tiempos en la actividad y generando beneficios a la empresa y al personal que trabaja en el proceso productivo aumentando su capacidad de empackado en un 300%.

La línea de empackado fue diseñada a medida para los requerimientos del cliente y se concluye el proyecto con éxito habilitando la posibilidad de aumentar funciones y continuar acoplado módulos que permitan al usuario aumentar aun su capacidad productiva y automatizar totalmente el proceso hasta el embalaje.

## **ABSTRACT**

The project described below corresponds to the design and construction of a packaging line for capsules that is implemented in the ECSPORTZ Factory, an Ecuadorian industry dedicated to the manufacture of capsules that requires this automation for the paintball production line.

In this document, the respective information on the development of the Capsule Packing Line is defined, divided into chapters as follows:

Chapter one: Definition of the problem, objectives, and state of the art.

Chapter two: Selection of alternatives and delimitation of the idea to be used for the machines or mechanisms that will make up the packaging line.

Chapter three: Development of the packaging line, design and sizing of the components or machines

Chapter four: The implementation of the parts, mechanical, electronic, and software components that allow to execute the packing with the functioning tests, conclusions and recommendations of this development is presented.

The packaging line was carried out according to the designs and was implemented at the plant obtaining positive results, automating the packaging process and allowing the process to be efficient and effective, reducing time in the activity and generating benefits for the company and the staff that works in the productive process, increasing its packaging capacity by 300%.

The packaging line was custom designed for the client's requirements and the project was successfully concluded enabling the possibility of increasing functions and continuing to connect modules that allow the user to increase even their productive capacity and fully automate the process until packaging.

# INTRODUCCIÓN

El Paintball es una actividad recreativa que se ha venido practicando en Ecuador desde la década de los 90 y actualmente se encuentra en crecimiento. En el año 2016, se instaló la primera fábrica de cápsulas de pintura en Ecuador “ECSPORTS” la misma que tiene como objetivo la fabricación de cápsulas de calidad para uso a nivel nacional e internacional, lo que implica una cantidad sumamente grande de producción.

En este Proyecto de Investigación se desarrolla la información correspondiente al Diseño y Construcción de una “Línea de Empacado de Cápsulas Rellenas de Pintura (Paintballs)” para la fábrica de cápsulas Ecuatoriana “ECSPORTS”. La línea de empaque está compuesta de varios módulos (máquinas o mecanismos), conectadas a un tablero central desde el cual, mediante una HMI (Human Machine Interface), se puede controlar a cada uno de los módulos que componen la línea de empaque.

ECSPORTS fabrica 60.000 cápsulas y prevé una pronta expansión, por lo que requiere que la línea de empaque pueda procesar mínimo 60.000 cápsulas en una jornada de 8 horas, para empaquetar todo el contenido que resulta de la línea automática de producción, realizando además las siguientes funciones complementarias:

- 1.- Realizar la selección de cápsulas vacías y llenas
- 2.- Brindar un espacio para la inspección de calidad realizada por un operario
- 3.- Agrupar 500 cápsulas y enfundarlas en fundas de plástico termosellable

En la línea de empaque, ingresan las cápsulas a granel en cantidades de 60.000 cápsulas/día y los diferentes módulos se listan a continuación:

- Selector de cápsulas: defectuosas (vacías) o aceptables (llenas)
- Banda transportadora para control de calidad
- Agrupador de cápsulas en múltiplos de 50 unidades
- Alimentador circular
- Formadora, llenadora y selladora automática de fundas de cápsulas

Cada uno de estos módulos se explica a detalle en el desarrollo de los capítulos.



# **CAPÍTULO I**

## **MÁQUINA DE EMPACADO**

### **1.1 TEMA**

Diseño y construcción de una línea de empaqueo de cápsulas de pintura “Paintballs” para la compañía Naranjo & Naranjo NA & NA Cía. Ltda.

### **1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE EMPACADO**

La Compañía Naranjo & Naranjo NA & NA Cía. Ltda., representa a una fábrica que produce variedad de productos de consumo masivo, contando con una línea de producción de cápsulas rellenas de pintura “paintballs”, siendo esta la única que desarrolla este producto a nivel nacional comprometida con el medio ambiente, ofertando el artículo completamente biodegradable y colaborando con el crecimiento de esta actividad recreativa en el Ecuador desde el 2016.

#### **1.2.1 PROCESO DEL EMPACADO DE CÁPSULAS DE PINTURA ECSPORTS**

La fábrica de cápsulas maneja un proceso automático para su sistema productivo que sigue el orden que se muestra en la Figura 1.1.

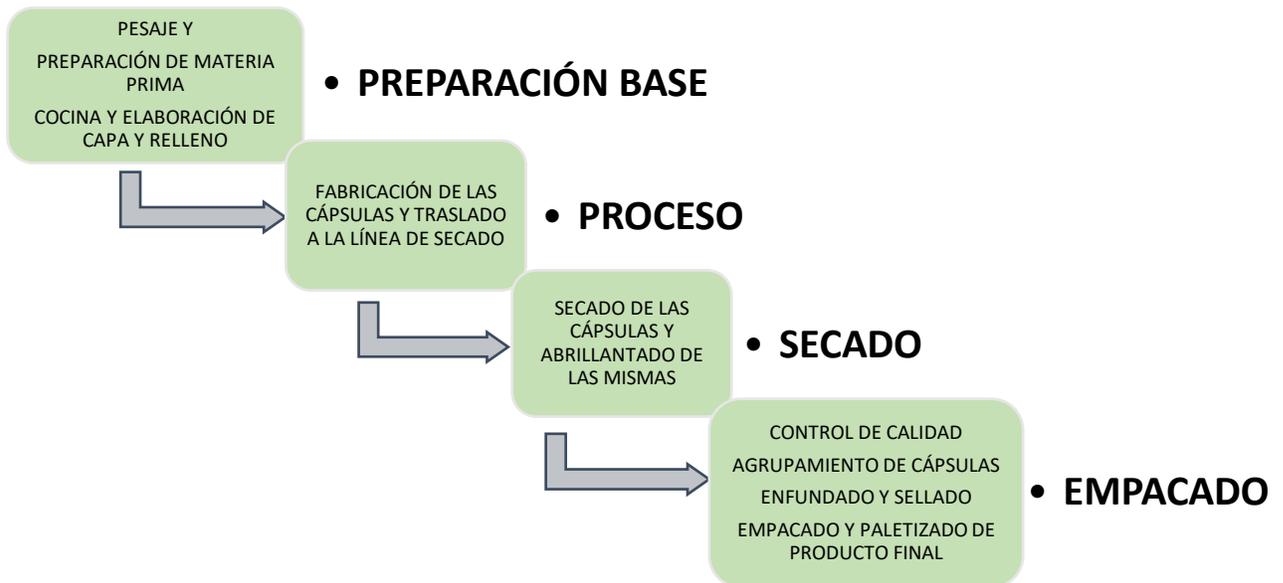


Figura 1.1. Diagrama de proceso de fabricación de cápsulas

En la preparación base, se aplica la fórmula de la cápsula y se obtiene la materia prima que se ingresa a la máquina principal, en el proceso donde se realiza la conformación de las cápsulas y el traslado de las mismas a la línea de secado, en donde la cápsula obtiene su dureza y apariencia final para luego pasar a la sección de empacado donde se presenta el problema actual para la Empresa, debido a que, de la línea de secado salen cápsulas a granel en cantidades de 8.000 por hora y la capacidad de empacado actual es de 5.000 por hora, lo que implica que por jornada se puede empacar el 63 % de la producción al día y esto genera un incremento de costos para permitir el empacado del 100% en el día.

Dentro de la sección de Empacado se realizan las siguientes tareas para lograr el producto final empacado en cajas de 2.000 cápsulas:

- Clasificación de cápsulas aceptables y defectuosas (se retiran las cápsulas sin relleno y/o rotas)

- Control de calidad del producto (se retiran las cápsulas que tienen protuberancias, impurezas o mal formaciones en su corteza), este proceso debe realizarse de manera visual por un operario, ya que el desperdicio por esta causa es menor a 0,5%
- Agrupamiento de 500 cápsulas (actualmente se realiza el agrupamiento mediante el peso de las mismas)
- Colocar las 500 cápsulas en una funda de plástico termosellable previamente conformada y sellada.
- Ubicar las fundas en las gavetas para la distribución a granel.
- Ubicar las fundas en cajas y pallets para la venta a los distribuidores.

En el apartado siguiente, se verifica la visión inicial de la línea de empaçado y sus módulos, lo cual permite solucionar el empaçado de las cápsulas de una manera automática.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Compañía Naranjo & Naranjo NA & NA Cía. Ltda., fabrica 60.000 cápsulas “ECSPORTS” por día en una jornada de 8 horas, mediante una línea de producción automática; y su línea de empaque (manual); actualmente tarda el doble de tiempo respecto a la velocidad de salida del producto terminado para enfundar, lo que ocasiona un cuello de botella en el proceso de empaçado y el costo del producto aumenta considerablemente por los tiempos muertos. Adicionalmente, el proceso manual requiere 2 operarios: el primero realiza un control de calidad de modo visual separando los productos defectuosos, y el segundo realiza el pesaje de las fundas llenas de cápsulas y el empaçado y sellado de las mismas, logrando así empaçar diariamente el 63% de la producción del día.

## 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una línea automatizada para el empaqueo de cápsulas de pintura “Paintballs” para la compañía NA&NA Cía. Ltda., que permita optimizar los tiempos de producción y reducir el costo del producto final.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y documentar máquinas utilizadas en líneas de empaque automatizadas para cápsulas o aplicaciones similares.
- Diseñar y construir los mecanismos y la estructura de la línea de enfundado.
- Diseñar módulos, sistemas de control y funcionamiento eléctrico y electrónico para cada uno de los mecanismos que comprenden la línea de empaqueo.
- Implementar una HMI (Human Machine Interface) que refleje el estado de la línea de empaqueo.
- Elaborar un protocolo de pruebas y funcionamiento de la línea de empaqueo.

## 1.5 HIPÓTESIS

La línea de empaque realiza la clasificación entre cápsulas aceptables o defectuosas, agrupa las mismas en conjuntos de 500 unidades y las empaeca en fundas de plástico termosellable permitiendo el empaquetado de 60.000 cápsulas por una jornada de 8 horas.

## 1.6 MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.6.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO A EMPACAR

Una “Paintball” es una cápsula esférica normalizada de calibre 17,2mm (0,68 inch) rellena de pintura orgánica con componentes de origen alimentario, que no tienen carácter

corrosivo ni dañino para ningún cuerpo con el que interactúe y se presentan en diferentes colores, tonalidades e incluso estampados Figura 1.2.



Figura 1.2. Presentación de cápsulas de pintura [1]

En el mercado internacional se puede encontrar cápsulas en varias presentaciones como frascos, envases de 200 unidades y otros, pero desde hace varios años se ha estandarizado la presentación de las cajas de cápsulas mediante la caja estándar que contiene 2.000 cápsulas en su interior (Figura 1.3), y están divididas en 4 fundas de 500 unidades cada una, ya que no es recomendable agrupar mayor cantidad para evitar que con el tiempo las que estén almacenadas se deformen.



Figura 1.3. Caja comercial de 2000 cápsulas, 4 empaques (500 cápsulas por caja) [2]

Estas cápsulas se utilizan en la actividad recreativa mediante el disparo de las mismas con ayuda de un equipo neumático, con el cual se impacta al oponente cubierto con varias protecciones y lo mancha con pintura dejándolo fuera de combate, pudiendo gastar alrededor de 300 cápsulas en un juego de 10 minutos.

### 1.6.2 DEFINICIÓN DEL EMPAQUE

Los empaques representan una parte fundamental en el proceso de producción de un artículo, permitiendo que éste pueda ser protegido de diversos ambientes y factores como la humedad, temperatura, radiación, sol, etc.

El empaque debe ser definido de acuerdo a varios aspectos como los que se listan a continuación: [3]

- Microbiológico y Sanitario
- Económico
- Comunicacional
- Morfológico
- Ecológico
- Legal

En la Figura 1.4 se presentan diferentes empaques de cápsulas utilizados a nivel mundial.



Figura 1.4. Presentación de cápsulas a nivel mundial

El material del empaque para las cápsulas es el plástico termosellable con una capacidad de 500 unidades (cantidad ocupada usualmente en una jornada de juegos), ya que esto permite obtener una cantidad adecuada para almacenamiento sin que se deformen.

### 1.6.3 TIPOS DE LAS MÁQUINAS DE EMPACADO

El empacado es de gran importancia para el producto terminado ya que le brinda la protección y facilidad de transporte a través de un envoltorio.

Las máquinas de empacado pueden realizar el proceso de diferentes maneras con variedad de sistemas de llenado y sellado e incluso difieren de acuerdo con la materia prima de empaque, por esta razón se realiza una clasificación para aclarar los sistemas que podrían ser útiles para la aplicación de empacado de cápsulas en la Figura 1.5.

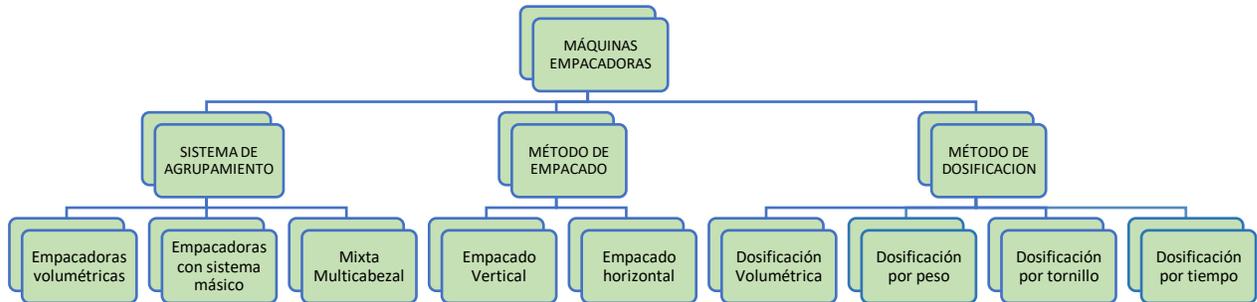


Figura 1.5 Clasificación de máquinas empacadoras

### 1.6.3.1 EMPACADORA VOLUMÉTRICA

Es una máquina utilizada para el empacado de productos granulados, polvo y principalmente líquidos, en donde es de suma importancia el volumen que éste producto ocupa en el empaque.

Este tipo de máquinas cuentan con un sistema de almacenamiento temporal en donde reside el producto a ser empacado mientras se realiza este proceso, manteniendo el producto listo para empacar todo el tiempo como se visualiza en la Figura 1.6.

#### 1.6.3.1.1 Ventajas

- Es sistema de control es más estable puesto que el volumen no está sujeto a gran control, ya que no varía de un empaque a otro.
- No requiere de sistemas muy complejos de instrumentación.

### 1.6.3.1.2 *Desventajas*

- No garantiza que la cantidad de sólidos suministrada sea igual de un empaque a otro.
- Limitación de productos a empacar.



Figura 1.6. Empacadora volumétrica [4]

### 1.6.3.2 EMPACADORA CON SISTEMA MÁSSICO

Es una máquina que basa su principio en el peso del producto a empacar, independientemente de la forma del producto esta máquina funciona básicamente con el peso de empaque Figura 1.7.

#### 1.6.3.2.1 *Ventajas*

- Dosificación fija de producto garantizada en cada empaque.
- Puede empacar cualquier tipo de producto independientemente de la forma del mismo.

#### 1.6.3.2.2 *Desventajas*

- Sistema de control más desarrollado y complejo
- Ambiente de funcionamiento libre de interferencias



Figura 1.7 Empacadora másica [5]

### 1.6.3.3 Empacadora Mixta

Es una máquina que presenta características de cada una de las empacadoras expuestas anteriormente en un solo equipo y permite combinar las fortalezas de cada máquina en una sola que brinda mayores beneficios, principalmente en la velocidad de empacado. Un ejemplo de máquina mixta, son las empacadoras multicabezal, Figura 1.8.

#### 1.6.3.3.1 Ventajas

- Velocidades altas de empacado respecto a cada máquina individual.
- Operación de la máquina sencilla.

#### 1.6.3.3.2 Desventajas

- Costo elevado de implementación
- Sistema de control complejo



Figura 1.8. Empacadora mixta multicabezal [6].

## 1.6.4 TIPOS DE LAS MÁQUINAS CLASIFICADORAS

En este apartado se presentan máquinas utilizadas en la industria para la clasificación de productos granulados por diferentes métodos.

### 1.6.4.1 TAMIZ VIBRATORIO LINEAL

Los tamices vibratorios son máquinas que contienen mallas, o láminas perforadas acorde al tamaño y forma del producto que se desea separar o clasificar.

Hay varios tipos de máquinas y aplicaciones, una de ellas es la tamizadora lineal que separa por forma y tamaño un producto definido como se verifica en la Figura 1.9.

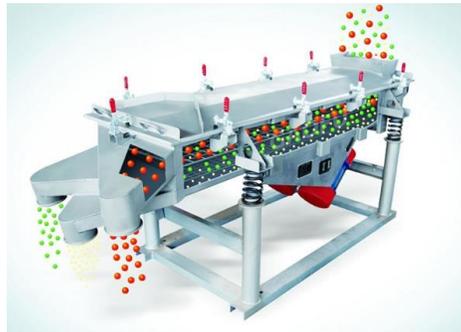


Figura 1.9. Tamiz vibratorio clasificador [7]

### 1.6.4.2. TAMIZADORA CIRCULAR

Otro tipo de máquina es la tamizadora circular que realiza la misma función pero requiere menos espacio disminuyendo la capacidad de procesamiento, Figura 1.10.

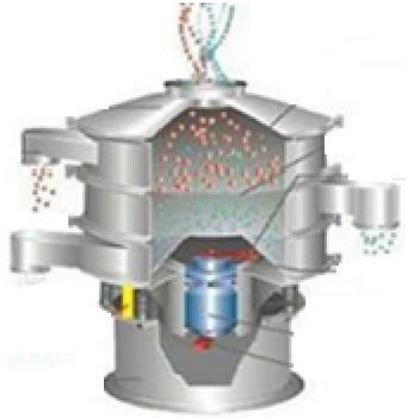


Figura 1.10. Tamiz vibratorio circular [8].

## 1.6.5 TIPOS DE LAS MÁQUINAS CONTADORAS O AGRUPADORAS COMERCIALES

### 1.6.5.1 MÁQUINA CONTADORA DE CÁPSULAS CSA-2

La máquina de la Figura 1.11 ha sido diseñada y desarrollada para contar y llenar diferentes formas o tamaños de los productos con precisión como cápsulas de gelatina blanda, cápsulas duras, tabletas, revestimiento de azúcar, y tabletas de recubrimiento de película, píldoras, medicina de hierbas o productos similares en recipientes o viales.



Figura 1.11. Contadora de cápsulas CSA-2 [9]

Las especificaciones correspondientes a la máquina CAS-2 se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla.1.1. Especificaciones empacadora de cápsulas CSA-2

DETALLE	CARACTERISTICA
Tamaño de Tableta	Máx. Dia.23mm
Tamaño de Botella	15-500 ml
Capacidad	1000-2000unid./min
Potencia	200W
Voltaje	110V 60Hz / 220V 50Hz (monofásico)
Peso	82kg
Tamaño	790x930x910mm

### 1.6.5.2 CONTADORA SEMIAUTOMÁTICA CT100SP

La máquina de la Figura 1.12 es utilizada para contar cápsulas, tabletas o comprimidos y frecuentemente usada en la industria farmacéutica, alimentaria, en unidades de investigación o en laboratorios. Es ideal cuando se busca un volumen de producción pequeño o mediano. Este equipo utiliza los efectos de vibración de electroimán, lo cual lo hace estable y fiable.



Figura 1.12. Contadora de cápsulas CT100SP [10]

Las especificaciones correspondientes a la máquina CT100SP se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Especificaciones empacadoras de cápsulas CT100SP

DETALLE	CARACTERISTICA
Tamaño de Tableta	Máx. Dia.20mm
Tamaño de Botella	15-1000 ml
Capacidad	1200-2600unid./min
Potencia	550W
Voltaje	110V 60Hz / 220V 50Hz (monofásico)
Peso	48kg
Tamaño	600x500x700 mm

## 1.6.6 DE MÁQUINAS EMPACADORAS COMERCIALES

TIPOS

### 1.6.6.1 EMPACADORA DESSION DS-420BZ FFS (FORM FILL SEAL)

Es una máquina formadora, llenadora y selladora de fundas de plástico termosellable mediante mordazas y cartuchos eléctricos para granos, con sistema de alimentación volumétrico rotatorio, Figura 1.13.



Figura 1.13. Máquina DS-420BZ FFS [11]

Las características principales de la máquina FFS se presentan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Características máquina FFS Dession DS-420 [11]

Tipo	DS-420BZ
Forma de medición	volumétrica de la Copa
Rango de medición	150 ~ 1500 ml
Tasa de embalaje	5 ~ 60 bag/min
Bolsa de Ancho	50 ~ 200mm
Longitud de la bolsa	80 ~ 300mm
Ancho de la película	420mm
Poder	220 V, 60 Hz, 2.2kVA
Tamaño de la máquina (L * W * H, mm)	3638x1020x2370
Peso de la máquina	950 Kilos
Máquina de envolver	Caso de madera contrachapada

#### 1.6.6.2 Empacadora automática ducto 509

El aplicador de bolsas de válvula automático de ducto múltiple modelo 509, coloca automáticamente las bolsas de válvula en los tubos de llenado. El aplicador de bolsas de válvula es fácilmente ajustable para un rango determinado de ancho y longitud de fundas, y permite un tiempo de cambio mínimo en las operaciones con tamaños de fundas múltiples utilizando un sistema de sellado por barras de cadmio y recubrimientos de fibra, Figura 1.14.



Figura 1.14. Empacadora automática ducto 509 [12].

## 1.6.7 BANDAS TRANSPORTADORAS

Se requieren varios tipos de bandas transportadoras en el desarrollo de esta línea de empaçado, una banda transportadora horizontal y una inclinada con un ángulo de inclinación entre 45-60 grados, considerando las siguientes opciones:

### 1.6.7.1 BANDA TRANSPORTADORA LISA PROPULSADA POR RODILLOS

Se encuentra en el mercado el tipo de banda de lona o caucho liso que tiene como mecanismo de propulsión rodillos, tal como se muestra en la Figura 1.15.



Figura 1.15. Banda transportadora lisa de propulsada por rodillo. [13].

### 1.6.7.2 BANDA TRANSPORTADORA PROPULSADA POR CADENA

Esta banda es modular se conecta por filas y se encuentra en varias medidas de acuerdo a la necesidad del cliente. El material es polipropileno u otros plásticos, y la transmisión se realiza por piñones que encajan en la parte inferior de la banda. Se muestra un ejemplo de la banda en la Figura 1.16.

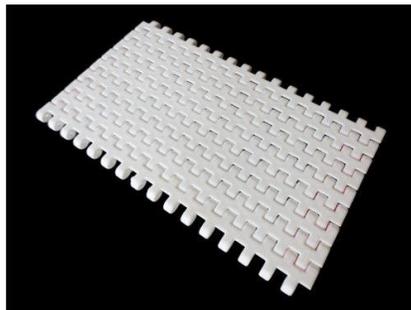


Figura 1.16. Banda transportadora modular propulsada por piñón [14].

### 1.6.7.3 BANDA TRANSPORTADORA POR CANGILONES

Esta banda permite transportar el producto a diferentes niveles de altura en espacios reducidos, ya que transporta el producto verticalmente como se muestra en la Figura 1.17, y existen varios tipos de transmisión y materiales base, así como en las bandas horizontales.

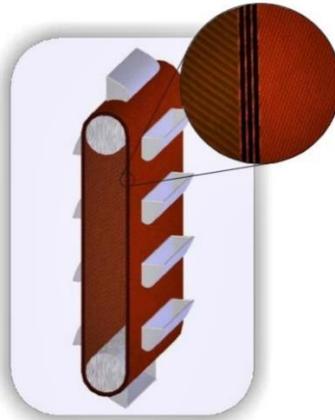


Figura 1.17. Banda transportadora vertical de cangilones [15].

Verificadas las máquinas que en la industria se aplican actualmente de acuerdo a cada proceso productivo, en el apartado siguiente se realiza el análisis y selección de las máquinas más adecuadas que formen la alternativa más idónea para diseñar y dimensionar la línea de empacado de cápsulas de pintura.

## CAPÍTULO II

# ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA LÍNEA DE EMPAQUE DE CÁPSULAS

### 2.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA A DETERMINAR

Se pretende realizar varias máquinas o mecanismos que trabajan en conjunto o separados para brindar la funcionalidad que el cliente requiere, Figura 2.1.

Se planea desarrollar una línea de empaque que pueda funcionar en cascada como también de forma independiente, y de esta manera, si una de las máquinas o mecanismos sale de operación este proceso es reemplazado por un operario y el resto de máquinas pueden seguir brindando sus servicios.

Todas las máquinas o mecanismos son conectadas a un tablero de control en el cual se ubica el PLC y la HMI con los elementos necesarios para los accionamientos y manejo de toda la línea de empaque.

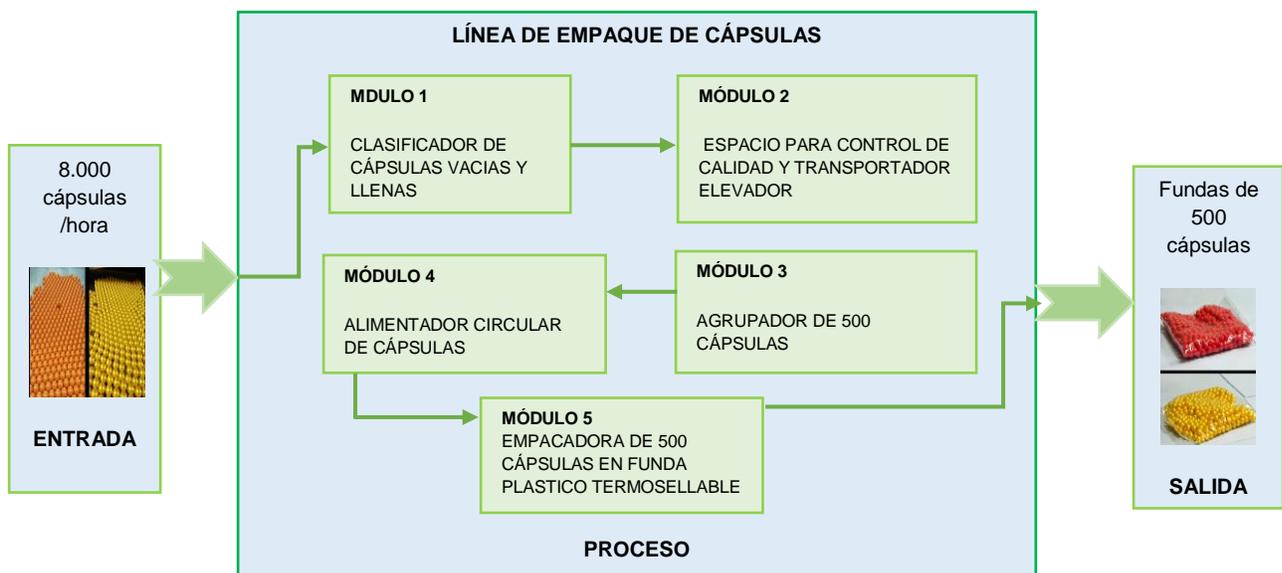


Figura 2.1. Diagrama de proceso de línea de empaque de cápsulas

A continuación en la Figura 2.2, se verifica tentativamente la forma geométrica de los módulos explicados en el diagrama de la Figura 2.1. A través de los modelos 3D de cada uno de los módulos que componen la línea de empaclado de cápsulas y la distribución en el área designada para este fin. Cabe recalcar que estos modelos pueden cambiar de acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de selección de alternativas.

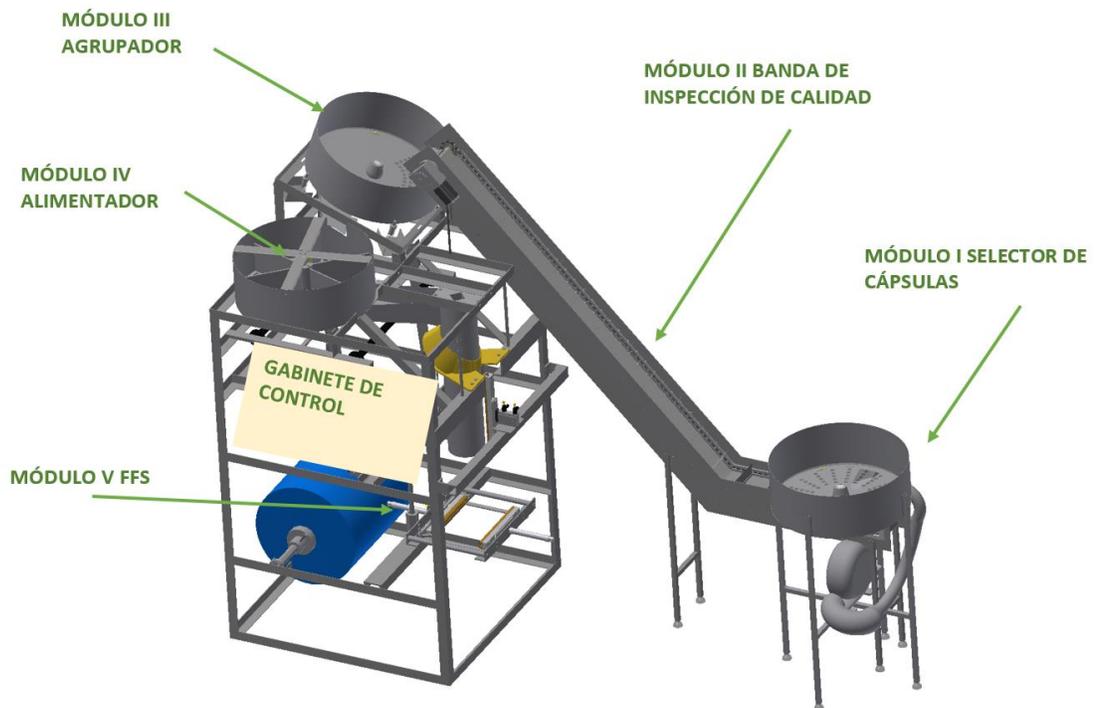


Figura 2.2. Modelo 3D de la línea de empaclado y su distribución en planta

## 2.2 GESTIÓN DE CALIDAD

La gestión de calidad se compone de varios factores que influyen en el proceso o producto para garantizar el cumplimiento de los requerimientos, estándares o normas que se desean alcanzar, por lo que ofrece varias herramientas, métodos o procedimientos en un amplio rango de actividades y aplicaciones desde la concepción de ideas hasta la distribución y post venta de productos. En esta ocasión, se acude a la gestión de calidad para el diseño donde se puede verificar los siguientes procedimientos para el diseño:

- TQM (Total Quality Management)
- SEIS SIGMA
- RUTAS DE LA CALIDAD
- QFD (Quality Function Development)

Para el desarrollo de este proyecto se aplicará la metodología QFD para determinar las características y requerimientos que deba cumplir la línea de empaqueo de cápsulas.

La metodología QFD o despliegue de la función calidad en español, es un método que se encarga de proporcionar la información más relevante respecto a un producto que el cliente requiere y permite convertir estos requerimientos o deseos del cliente en características o parámetros de ingeniería, sin necesidad de realizar una investigación de mercado muy elevada y costosa.

## **2.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD QFD**

Dentro de este apartado se verifica la aplicación parcial de la herramienta blitz-QFD, la misma que propone la realización de las siguientes actividades para ajustar los recursos y las necesidades del usuario y brinda los resultados técnicos y la prioridad a cada característica de la línea de empaqueo.

### **2.3.1 OBTENCIÓN DE LA VOZ DEL CLIENTE**

La fábrica de cápsulas de pintura del Ecuador “ECSPORTS” produce 8.000 cápsulas por hora, lo que genera una cantidad de 60.000 cápsulas por jornada.

Para el empaqueo de esta cantidad de producto se requiere actualmente de 2 operarios y el proceso no es completamente eficiente, ya que existe mucha variabilidad en el producto terminado, así como en la repetitividad de producto terminado (fundas) y en la cantidad de producto que se entrega al cliente final.

La fábrica planifica un crecimiento del 45% para el primer trimestre del 2019, por lo que requiere optimizar su proceso de empaqueo, para lo cual se espera obtener una línea de

empacado que le permita cubrir los volúmenes planteados y el crecimiento que se planifica.

Por lo expresado anteriormente, el cliente solicita:

- Que la máquina pueda enfundar 8.000 cápsulas en una hora.
- Obtener uniformidad en el sellado de las fundas.
- Contar con un área para control de calidad por un operario, ya que la empresa no busca prescindir del personal sino facilitar su trabajo.
- Que el rollo plástico sea fácil de colocar.
- Que el mantenimiento no sea muy complicado y se lo pueda realizar rápidamente.
- Incluir un módulo de selección de cápsulas vacías y llenas.
- Reducir gastos innecesarios.
- Que se pueda encontrar repuestos en el mercado nacional
- Que funcione continuamente por un período de al menos 6 meses sin requerir cambios de piezas

### **2.3.2 OBTENCIÓN DE LA VOZ DEL INGENIERO**

El análisis de los parámetros solicitados por el cliente permite obtener las características más influyentes en el funcionamiento de la máquina que permiten cumplir los requerimientos previos:

- Interfaz Hombre - Máquina (HMI)
- Capacidad de proceso
- Ergonomía y accesibilidad
- Dimensiones
- Mantenibilidad
- Peso
- Clasificación de producto
- Sistema de sellado continuo

- Potencia de la máquina
- Disponibilidad de piezas o repuestos
- Durabilidad

Esta información que se ha obtenido, permite continuar con el proceso de análisis mediante el uso de la casa de la calidad.

### **2.3.3 ESTRUCTURAR LAS NECESIDADES Y DESEOS DEL CLIENTE**

Es de vital importancia el reconocer la diferencia entre las necesidades y los deseos del cliente, ya que será de gran influencia en la puntuación de cada característica en la Casa de la Calidad, y si no se realiza de manera adecuada se obtiene información sesgada.

En base a lo expuesto, se determina que las necesidades del cliente son las siguientes:

- Que la máquina pueda enfundar 8.000 cápsulas en una hora
- Obtener uniformidad en el sellado de las fundas
- Contar con un área para control de calidad por un operario, ya que la empresa no busca prescindir del personal sino facilitar su trabajo
- Incluir un módulo de selección de cápsulas vacías y llenas

Y los factores estimulantes para el cliente sin ser una necesidad, son los siguientes:

- Que el rollo plástico sea fácil de colocar
- Que el mantenimiento no sea muy complicado y se lo pueda realizar rápidamente
- Bajo costo
- Que se pueda encontrar repuestos en el mercado nacional
- Que funcione continuamente por un período de al menos 6 meses sin requerir cambios de piezas

### 2.3.4 DESARROLLO DE LA CASA DE LA CALIDAD

En la Figura 2.3 que representa a la casa de la calidad, se visualiza los parámetros técnicos y las relaciones entre éstos, a tener en cuenta como prioridad en el diseño de la línea de empaqueo, que en la evaluación de competidores se denomina *CNESTRONIC*.

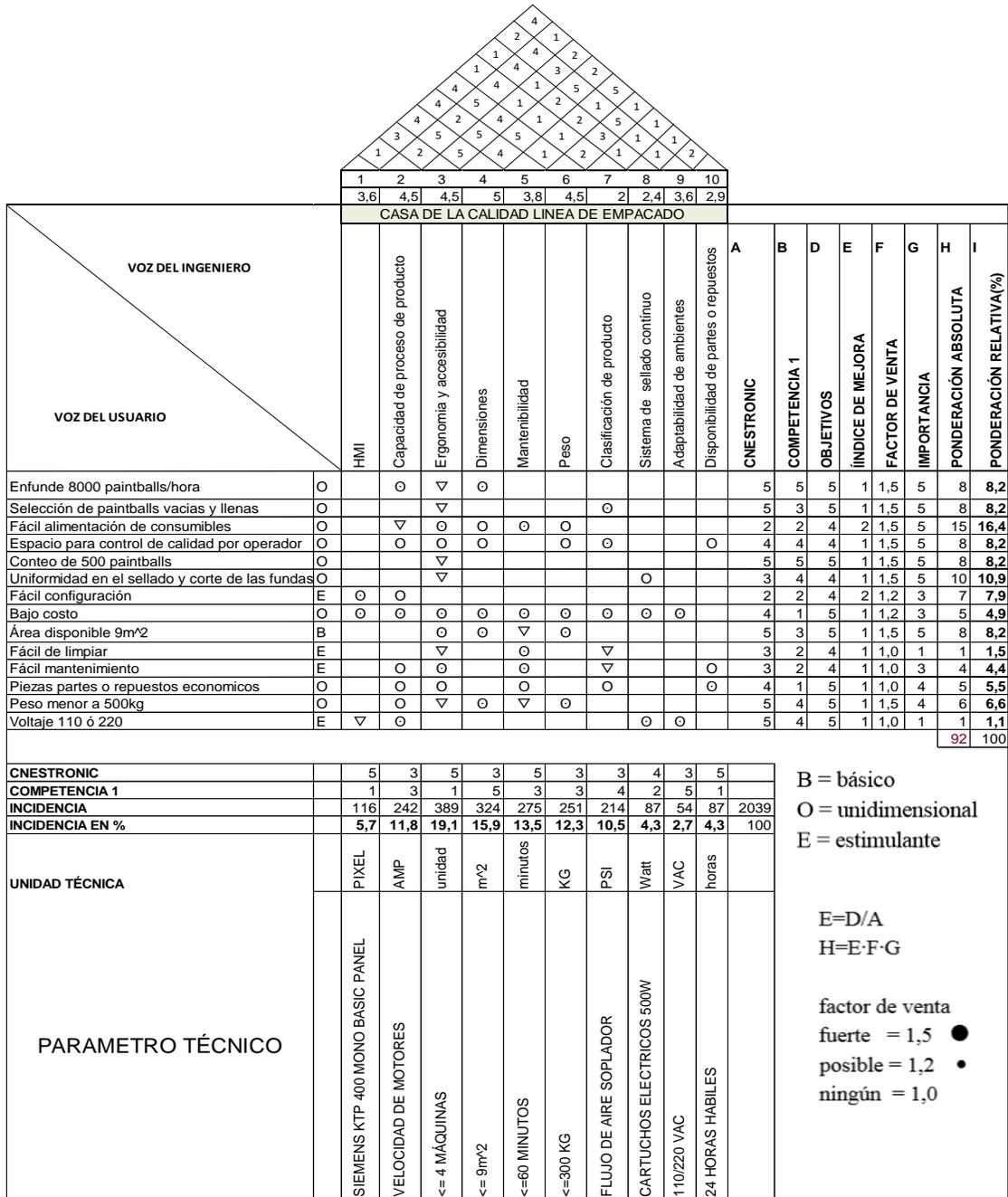


Figura 2.3.

Casa de la calidad línea de empaqueo de cápsulas

En la Figura 2.3 se puede verificar los parámetros más importantes e influyentes en la línea de empaçado:

- Número de máquinas 19,1%
- Área requerida 15,9%
- Mantenibilidad 13,5%
- Peso 12,3%
- Velocidad de motores 11,8%
- Clasificador de vacías y llenas 10,5%

Como se ha especificado las características anteriores representan el 85,8% de incidencia en el cumplimiento de los requerimientos del cliente, por lo que hay que tomarlos en cuenta para la selección de las alternativas que se propondrán en el capítulo siguiente pero también al representar un gran porcentaje hay otro parámetro que permite identificar las características más influyentes y que guardan una correlación muy fuerte entre ellas por lo que al afectar positivamente a una se mejora varios parámetros en este caso se recomienda dar prioridad a los siguientes parámetros:

- Dimensión
- Ergonomía
- Capacidad de proceso

Con la influencia de estos factores el resto de factores van a tener su mejora colateral.

### **2.3.5 FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

En la Tabla 2.1 se verifica las especificaciones técnicas que debe cumplir la línea de empaçado para cumplir su función y en esta también se expresan los deseos del cliente que mejorará su percepción del producto.

Tabla. 2.1. Especificaciones técnicas de la línea de empaqueo de cápsulas.

<b>EMPRESA</b> NARANJO & NARANJO CIA.LTDA	<b>PRODUCTO</b> LÍNEA DE EMPACADO DE CÁPSULAS	<b>FECHA</b> <b>INICIAL</b> <b>ULTIMA</b> <b>REVISION</b>	01/03/2018  01/05/2018	
<b>DISEÑADOR</b> CESAR NARANJO PAREDES				
<b>ESPECIFICACIONES</b>				
<b>CONCEPTO</b>	<b>FECHA</b>	<b>PROPONE</b>	<b>R/D</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
FUNCIÓN	01/03/2018	C	R	Capacidad mínima de proceso de 8.000 cápsulas /hora
				Clasificar cápsulas vacías de llenas
				Banda para inspección de calidad por un operario
				Agrupar 500 cápsulas en múltiplos de 50
				Formar funda de Funda plástica termo sellable llena de 500 cápsulas en su interior
EQUIPOS	01/03/2018	C	R	Que la línea de empaqueo en su conjunto no supere 5 máquinas
DIMENSIONES	01/03/2018	C+I	R	El área máxima para la implementación es de 9m <sup>2</sup>
PESO	01/03/2018	C+I	R	El peso máximo de la línea de empaqueo no debe superar los 300kg
MANTENIBILIDAD	04/05/2018	C+I	D	La accesibilidad para mantenimiento no debe sobrepasar los 60 minutos y debe realizarse con herramientas estándar en cantidad reducida
VELOCIDAD DE MOTORES	01/03/2018	C	D	Velocidad variable de motores para selección de calidad
ERGONOMÍA	01/03/2018	C	R	Que el reemplazo de los rollos de lámina para funda sean de fácil colocación y la operación no sobrepase los 30 minutos
ADAPTABILIDAD DE AMBIENTE	01/03/2018	C+I	D	La máquina sea capaz de funcionar a 110 o 220 VAC en caso de que el cliente requiera movilizar la línea a otro lugar
DISPONIBILIDAD DE PARTE O REPUESTOS	01/03/2018	C+I	D	Los repuestos sean de fácil adquisición en el mercado nacional con un tiempo de reposición de máximo 24 horas

## 2.4 DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño conceptual utiliza las especificaciones recopiladas para generar alternativas de solución para cada módulo y estas alternativas son evaluadas para determinar su idoneidad para la aplicación que va a desenvolver el sistema.

### 2.4.1 ANÁLISIS FUNCIONAL

En esta sección se analiza la línea de empaqueo y las máquinas o módulos que la componen, estableciendo la relación entre los módulos y el flujo de señales y producto para comprender de mejor manera su funcionamiento.

#### 2.4.1.1 NIVEL FUNCIONAL 0

La estructura funcional de la línea de empaqueo se divide en dos niveles. En el nivel 0 que se muestra en la Figura 2.4. Se presenta la interpretación de funcionamiento general.



Figura 2.4. Diagrama funcional Nivel 0 línea de empaqueo de cápsulas

#### 2.4.4.2 NIVEL FUNCIONAL 1

En la Figura 2.5, se presenta el nivel 1 de la línea de empaqueo donde se visualizan los módulos internos que componen el nivel 0 y la relación que tienen éstos entre sí, con el flujo de señales y producto para comprender como funciona la línea de empaqueo.

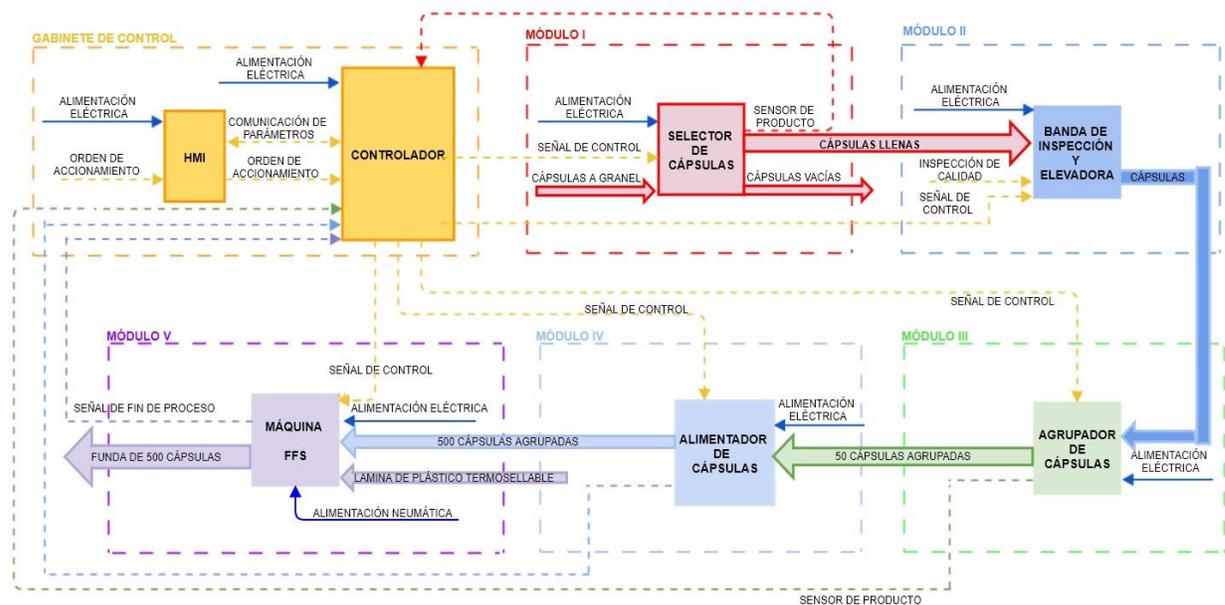


Figura 2.5. Diagrama funcional Nivel 1 línea de empaqueo de cápsulas

## 2.4.2 DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES

Los módulos funcionales permiten organizar e implementar las funciones de un sistema o producto.

### 2.4.2.1 GABINETE DE CONTROL

Su función es el ingreso de parámetros y órdenes que la línea de empaqueo debe cumplir, el proceso de información y comando de los diferentes actuadores, como también el proceso de las señales recibidas de los diferentes sensores ubicados a lo largo de la línea de empaqueo.

El ingreso de esta información se realiza mediante una HMI y el procesamiento se realiza a través de un PLC

### 2.4.2.2. MÓDULO I: MÁQUINA SELECTOR DE CÁPSULAS VACÍAS Y LLENAS

Selector de cápsulas vacías y llenas, es el módulo que separa el producto defectuoso (cápsulas vacías) y producto aceptable (cápsulas llenas) mediante el soplado de aire que

empuja las cápsulas vacías hacia una rampa de desecho, dejando así que las cápsulas llenas caigan por la gravedad hacia la rapa de aceptación sin afectación del flujo de aire, y sean guiadas hacia el módulo 2.

Este módulo cuenta con un sensor que indica si el contenedor tiene producto, para de ésta manera habilitar su funcionamiento

#### **2.4.2.3 MÓDULO II: BANDA DE INSPECCIÓN Y ALIMENTADOR ELEVADOR**

Cuenta con una banda transportadora y elevadora, que en la parte horizontal funciona como una banda para que un operario realice la inspección visual del producto y en la parte inclinada funciona como un elevador que alimenta el producto hacia el módulo 3.

#### **2.4.2.4 MÓDULO III: MÁQUINA AGRUPADORA DE CÁPSULAS**

Éste módulo consta de un contenedor vibratorio que mediante un disco giratorio realiza el agrupamiento de las cápsulas en múltiplos de 50 y cuenta con 2 sensores; el primero es un sensor que permite controlar cuántos múltiplos se agrupan y de ésta manera el disco gira las veces necesarias para cumplir el requerimiento del cliente; el segundo sensor indica el estado del contenedor: vacío, para solicitar la alimentación de producto desde los módulos anteriores, o lleno para solicitar que los módulos anteriores que alimentan a éste se detengan para evitar el desbordamiento de producto.

#### **2.4.2.5 MÓDULO IV: ALIMENTADOR CIRCULAR**

El módulo alimentador circular está compuesto de un contenedor que tiene seis divisiones en su interior y gira 60° cada vez que el Módulo III ha finalizado el proceso de agrupamiento, dejando así un espacio libre para el siguiente agrupamiento y permitiendo el paso del producto hacia el módulo V.

#### **2.4.2.6 MÓDULO V: MÁQUINA FORMADORA, LLENADORA Y SELLADORA FFS**

Este módulo consta de una máquina FFS que forma la funda a partir de un rollo de lámina de plástico termosellable, lo sella verticalmente en la unión de los extremos de la lámina y posteriormente sella la parte baja de la funda; y una vez llena con el producto, sella la parte superior, es decir, da paso a que se forme la base de la siguiente funda vacía. Es por ello, que el Módulo IV alimenta las cápsulas agrupadas, contenidas en el alimentador previamente. El peso de las cápsulas permiten el avance en el proceso y se realiza el corte dando por terminado el proceso de enfundado de la línea de empaque.

### **2.5 MATRIZ MORFOLÓGICA**

La matriz morfológica, Figura 2.6, contiene las diferentes alternativas para el diseño de la línea de empaque de cápsulas y permite reconocer las ventajas y desventajas de cada ruta para el cumplimiento de los requerimientos adquiridos en la voz del usuario.

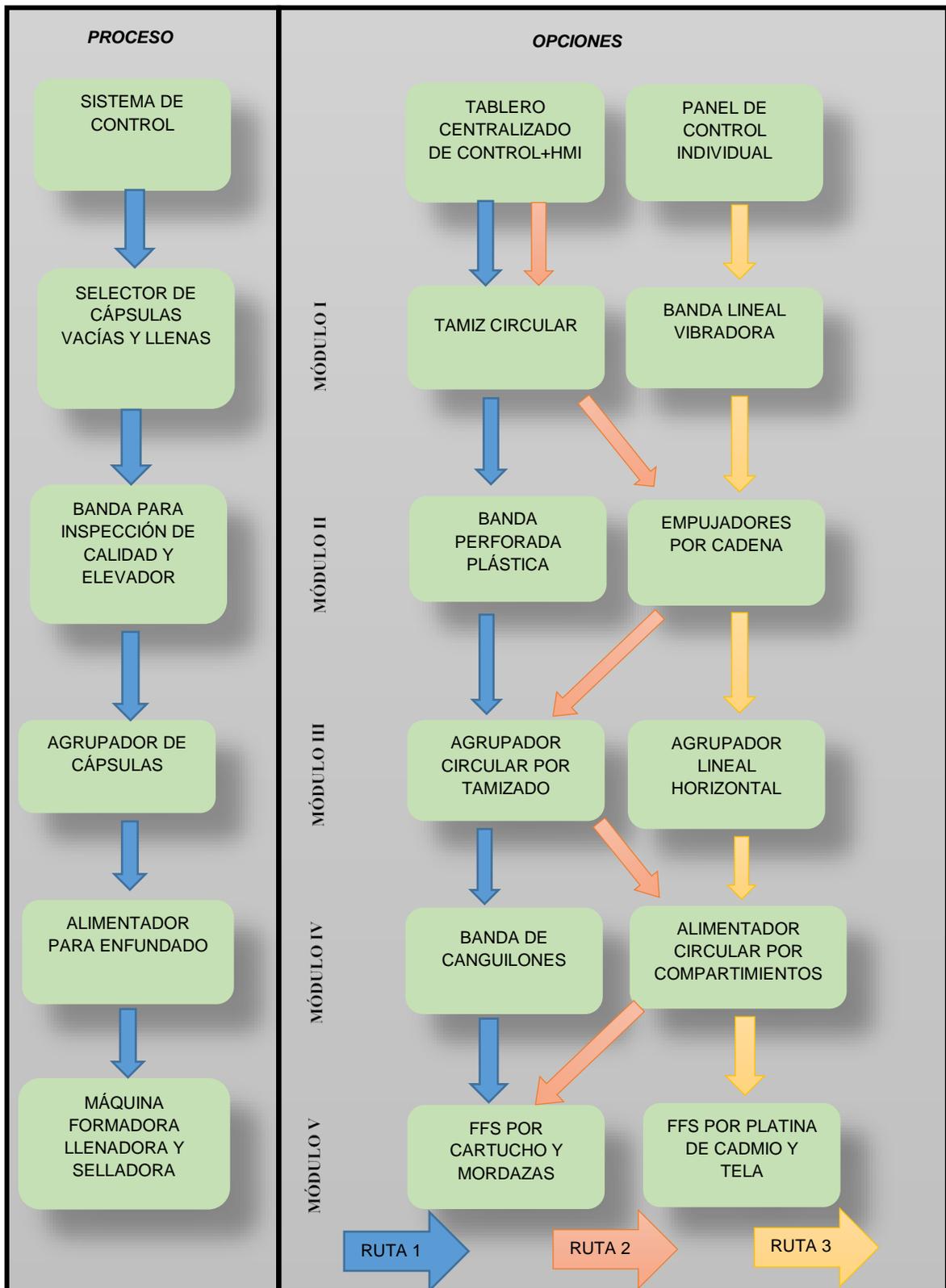


Figura 2.6. Matriz morfológica de línea de empaqueo de cápsulas

### **2.5.1 OPCIÓN: RUTA 1**

El encendido de las cinco máquinas y su configuración se realiza mediante un tablero centralizado de control con una HMI donde se conectan todas y cada una de las máquinas. La selección de cápsulas vacías o llenas se produce mediante un sistema de tamiz circular con un soplador de aire que separa las vacías de llenas por el peso de las mismas. Las cápsulas que pasaron el primer filtro van a la banda perforada plástica de poliestireno para la inspección de calidad realizada por un operario, y el agrupamiento de las cápsulas se produce mediante un tamiz circular para posteriormente ingresar a una banda de canguilones que retiene las 500 cápsulas y las alimenta hacia el módulo final compuesto por una máquina FFS por cartucho y mordazas.

### **2.5.2 OPCIÓN: RUTA 2**

El encendido de las cinco máquinas y configuración de las mismas se realiza mediante un tablero centralizado de control con una HMI, al cual se conectan todas y cada una de las máquinas. La selección de cápsulas vacías o llenas se produce mediante un sistema de tamiz circular con un soplador de aire que separa las vacías de llenas por el peso de las mismas. Las cápsulas que pasaron el primer filtro van a la banda de empujadores por cadena para la inspección de calidad realizada por un operario y la alimentación del producto hacia módulo de agrupamiento circular por tamizado que permite agrupar 500 cápsulas.

Las 500 cápsulas pasan al alimentador circular por compartimientos para que éste contenga varios grupos y alimente al módulo 5 la máquina FFS por cartucho y mordazas.

### **2.5.3 OPCIÓN: RUTA 3**

El encendido será realizado mediante un panel de control individual ubicado en cada una de las máquinas. La selección de cápsulas vacías o llenas se produce mediante una banda lineal y vibratoria que selecciona las cápsulas por el peso de las mismas, las cápsulas que pasaron el primer filtro van a los empujadores por cadena para la inspección

de calidad realizada por un operario y la alimentación del producto hacia módulo de agrupamiento lineal horizontal que permite agrupar 500 cápsulas.

Las 500 cápsulas pasaran al alimentador circular por compartimientos para que éste contenga varios grupos y alimente al módulo 5 la máquina FFS por platina de cadmio y fibra.

## 2.6 MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS

La matriz de residuos ponderados permite considerar varias alternativas donde se asigna los siguientes valores:

1	Si el criterio de las filas es superior a las columnas.
0.5	Si el criterio de las filas es igual a las columnas.
0	Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

Permite determinar la alternativa más óptima, por lo cual se procede a plantear los criterios de valoración para las alternativas que son:

- 1) Costo: este factor es importante para la línea de empaque debido a que se busca el menor costo con elementos que garanticen un excelente desempeño de la máquina.
- 2) Tamaño: es importante debido a que la empresa cuenta con un espacio designado para esta máquina por lo cual las medidas no deben superar el área disponible.
- 3) Mantenibilidad: es necesario acceder a la máquina y sus componentes de una manera rápida, sin requerir de herramientas especiales o gran cantidad de éstas.
- 4) Funcionalidad: el proceso productivo mediante inspección por un operario realiza la clasificación del producto, ya que los defectos o variaciones en el producto son fácilmente identificables a simple inspección, pero reconocer si una cápsula está llena de líquido o no requiere de más tiempo y habilidades

específicas en el operador, por lo que le cliente necesita que se realice ésta operación mediante una máquina diseñada con este fin.

- 5) Peso: factor sumamente importante debido a que influirá en el traslado, montaje y mantenimiento de la línea de empackado, por lo que se requiere que el peso no sobrepase en total los 300 kg.

La evaluación del peso específico de cada criterio se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla.2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio

COSTO>TAMAÑO>MANTENIBILIDAD>PESO>CLASIFICADOR DE CÁPSULAS							
CRITERIOS	COSTO	TAMAÑO	MANTENIBILIDAD	FUNCIONALIDAD	PESO	$\Sigma+1$	PONDERADO
COSTO		1	1	1	1	5	0,33
TAMAÑO	0		1	1	1	4	0,27
MANTENIBILIDAD	0	0		1	1	3	0,20
FUNCIONABILIDAD	0	0	0		0	1	0,07
PESO	0	0	0	1		2	0,13
TOTAL						15	1

En la Tabla 2.2 se puede observar que los criterios costo, tamaño y mantenibilidad, son los más influyentes en la selección de la alternativa más viable y arrojan los porcentajes siguientes respectivamente 33%, 27%, 20%.

A continuación se evaluará las opciones en función de cada criterio para obtener la ponderación respectiva y analizar su influencia en la decisión de la alternativa.

### 2.6.1 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: COSTO

En la Tabla 2.3 se analiza el criterio costo, y se puede visualizar que la ponderación individual del costo de la opción 1 es la más relevante, por lo que multiplicado por el peso de este criterio en la toma de decisión se obtuvo como resultado una ponderación de 0.17 en la opción 1, mostrando que esta opción es la de menor costo, por lo cual resulta la opción más viable en función del costo.

Tabla. 2.3. Evaluación del peso específico del criterio: Costo

OP1>OP2=OP3						
COSTO	OP1	OP2	OP3	$\Sigma+1$	PONDERADO	PONDERACIÓN GLOBAL
OP1		1	1	3	0,50	0,17
OP2	0		0,5	1,5	0,25	0,08
OP3	0	0,5		1,5	0,25	0,08
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>1,00</b>	<b>0,33</b>

### 2.6.2 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: TAMAÑO

En la Tabla 2.4 se analiza el criterio tamaño y se verifica que la opción 2 es la más relevante por lo que multiplicada por el peso de este criterio en la toma de decisión se obtuvo como resultado de una ponderación de 0.13 para la opción 2, esto muestra que esta opción representa el tamaño más adecuado para la línea de empaçado.

Tabla 2.4. Evaluación del peso específico del criterio: Tamaño

OP1=OP3<OP2						
TAMAÑO	OP1	OP2	OP3	$\Sigma+1$	PONDERADO	PONDERACION GLOBAL
OP1		0	0,5	1,5	0,25	0,07
OP2	1		1	3	0,50	0,13
OP3	0,5	0		1,5	0,25	0,07
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>1,00</b>	<b>0,27</b>

### 2.6.3 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: MANTENIBILIDAD

En la Tabla 2.5 se analiza el criterio mantenibilidad, y se puede visualizar que la ponderación individual de mantenibilidad de la opción 2 es la más relevante por lo que multiplicado por el peso de este criterio en la toma de decisión se obtuvo como resultado una ponderación de 0.10 en la opción 2, mostrando que esta opción es la más viable en función de la mantenibilidad de la línea de empaçado.

Tabla 2.5. Evaluación del peso específico del criterio: Mantenibilidad

OP2>OP1>OP3						
MANTENIBILIDAD	OP1	OP2	OP3	$\Sigma+1$	PONDERADO	PONDERACION GLOBAL
OP1		0	1	2	0,33	0,07
OP2	1		1	3	0,50	0,10
OP3	0	0		1	0,17	0,03
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>1,00</b>	<b>0,20</b>

#### 2.6.4 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: FUNCIONALIDAD

En la Tabla 2.6. se analiza el criterio funcionalidad que corresponde al clasificador de cápsulas que es un requerimiento del cliente que no mantiene mayor diferencia entre los procesos por lo que proporciona porcentajes de ponderación iguales para cualquiera de las opciones lo que sugiere que cualquiera de las opciones puede resultar viable, se deja a libre elección del diseñador cuál de ellas utilizar o también se puede profundizar en la investigación específica de cada sistema y aplicar el método de residuos ponderados para la selección de esta máquina.

Tabla 2.6. Evaluación del peso específico del criterio: Funcionalidad

OP2=OP1=OP3						
FUNCIONALIDAD	OP1	OP2	OP3	$\Sigma+1$	PONDERADO	PONDERACION GLOBAL
OP1		0,5	0,5	2	0,33	0,02
OP2	0,5		0,5	2	0,33	0,02
OP3	0,5	0,5		2	0,33	0,02
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>1,00</b>	<b>0,07</b>

### 2.6.5 EVALUACIÓN DEL CRITERIO: PESO

En la Tabla 2.7 se analiza el criterio peso, y se puede visualizar que la ponderación individual de pesos indica una igualdad entre la opción 2 y 3, por lo que multiplicado por el peso de este criterio en la toma de decisión se obtuvo como resultado una ponderación de 0.06 en la opción 2 y 3, lo que indica que cualquiera de las dos opciones son viables para la línea de empaçado.

Tabla 2.7. Evaluación del peso específico del criterio: Peso

OP3=OP2>OP1						
PESO	OP1	OP2	OP3	$\Sigma+1$	PONDERADO	PONDERACIÓN GLOBAL
OP1		0	0	1	0,17	0,02
OP2	1		0,5	2,5	0,42	0,06
OP3	1	0,5		2,5	0,42	0,06
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>0,58</b>	<b>0,08</b>

### 2.6.6 ANÁLISIS FINAL PARA SELECCIONAR EL DISEÑO DE LA MÁQUINA

En la Tabla 2.8, se puede verificar el resumen del análisis individual de los criterios de selección de las diferentes alternativas, por lo que se concluye que la opción 2 es la más indicada para la línea de empaçado de cápsulas con una ponderación global del 39%.

Tabla 2.8. Conclusiones y definición de alternativa

CRITERIO	COSTO	TAMAÑO	MANTENIBILIDAD	FUNCIONALIDAD	PESO	PONDERADO TOTAL
OP1	0,17	0,07	0,07	0,02	0,02	0,34
OP2	0,08	0,13	0,10	0,02	0,06	0,39
OP3	0,08	0,07	0,03	0,02	0,06	0,26
<b>TOTAL</b>	<b>0,33</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>1</b>

Por lo expuesto anteriormente, se procede a la explicación de los diferentes módulos que contendrá la línea de empaçado de cápsulas.

## 2.7 ALTERNATIVA SELECCIONADA

En la Tabla 2.9 se realiza la descripción de los diferentes módulos que forman parte de la línea de empaçado.

Tabla. 2.9. Alternativa seleccionada

PROCESO	COMPONENTE
SISTEMA DE CONTROL ①	GABINETE DE CONTROL + HMI
SELECTOR DE CÁPSULAS VACÍAS Y LLENAS ②	TAMIZ CIRCULAR
BANDA DE INSPECCIÓN DE CALIDAD Y ELEVADORA ③	EMPUJADORES POR CADENA
AGRUPADOR DE CÁPSULAS ④	AGRUPADOR CIRCULAR POR TAMIZADO
ALIMENTADOR PARA ENFUNDADO ⑤	AGRUPADOR CIRCULAR POR COMPARTIMENTOS
MÁQUINA FORMADORA LLENADORA Y SELLADORA ⑥	FFS POR CARTUCHOS Y MORDAZAS

Con la información que se obtiene se procede a diseñar geoméricamente la línea de empaçado como se verifica en la Figura 2.7.

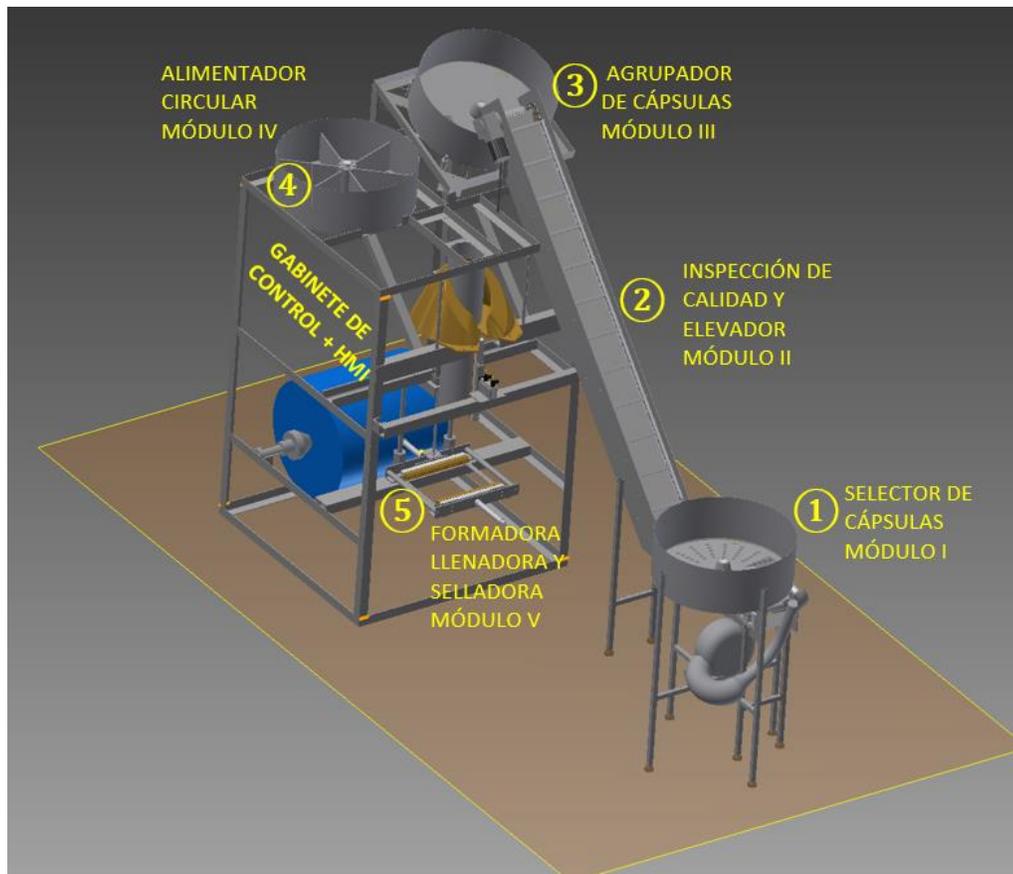


Figura 2.7. Esquema de la alternativa de solución

En los siguientes literales, se detalla cada uno de los componentes y características principales que utiliza la línea de empaquetado.

### 2.7.1 MÓDULO 1: MÁQUINA SELECTORA DE CÁPSULAS VACÍAS Y LLENAS

Este módulo consiste de un tamiz giratorio con varios orificios de calibre 17,2mm (0,68 inch) que está girando sobre una plataforma estática con una cavidad por la cual caerán las cápsulas (Figura 2.8). Los orificios están distribuidos de manera que la caída de las cápsulas se produzca en una fila perpendicular al flujo de aire, el mismo que propulsará las cápsulas que tienen un menor peso por el canal de desecho, pues éstas son las cápsulas vacías, permitiendo que las cápsulas llenas continúen su trayecto hacia el módulo siguiente en el cual se realiza la inspección de calidad por parte de un operario.

El movimiento del disco se ejecuta mediante el uso de un motor reductor, definidos en el capítulo 3.

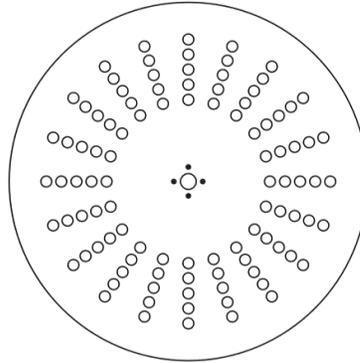


Figura 2.8. Distribución de orificios calibre 17,2mm (0,68 inch).

### 2.7.1.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

- Capacidad de proceso de producto : 8.000 cápsulas/ hora
- Área disponible máxima: 1m<sup>2</sup>

### 2.7.2 MÓDULO 2: BANDA DE INSPECCIÓN Y ALIMENTADOR ELEVADOR

Este módulo consta de una banda transportadora que permite a un operario realizar la inspección de calidad de las cápsulas, y al producto ser transportado y elevado desde el módulo 1 hasta el módulo 3, la banda cuenta con una sección horizontal 0° de inclinación y una sección inclinada con 46° que eleva el producto las medidas de cada sección y otros parámetros técnicos importantes se verifican a continuación:

#### 2.7.2.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

- Ancho de la Banda = 200mm
- Longitud de la banda = 0,8 m + 1,75m(inclinada)
- Tipo de material y granulometría = Plástico, 0,68 inch diámetro

- Capacidad de transporte= 24 kg/hora
- Grado de inclinación de la banda=  $0^\circ(0,8\text{m})+46^\circ(1,75\text{m})$
- Velocidad de la banda= 20 mm/segundo

### 2.7.3 MÓDULO 3: MÁQUINA AGRUPADORA DE CÁPSULAS

En este módulo se encuentra una máquina agrupadora que consiste de un tamiz circular compuesto por un disco que contiene 3 grupos de 50 orificios cada uno y este tamiz gira permitiendo al sensor realizar la lectura y agrupar la cantidad que se ha configurado en la HMI para agrupar las cápsulas en múltiplos de 50 unidades (50, 100, 150, 200, ..., 500), y éstas cápsulas pasan por un ducto y caen al módulo 4.

Los grupos de orificios están distribuidos en el tamiz en tercios, como se muestra en la Figura 2.9.

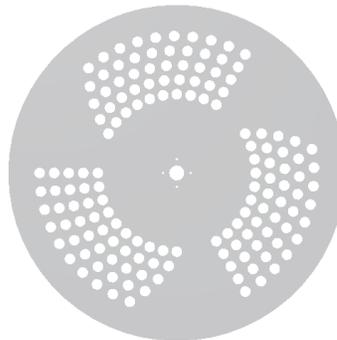


Figura 2.9. Distribución de orificios calibre 17,2mm (0,68 inch)

#### 2.7.3.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

- Capacidad de proceso de producto : 8.000 cápsulas/ hora
- Área disponible máxima:  $1\text{m}^2$
- Tamiz agrupador reemplazable (variedad de grupos en diferentes múltiplos)

### 2.7.4 MÓDULO 4: ALIMENTADOR CIRCULAR

Este módulo, Figura 2.10, recibe las cápsulas del módulo 3 “agrupador” y las retiene en sus cavidades hasta que el módulo 3 acabe su rutina de agrupamiento y entonces el módulo 4 alimentador avanza  $60^\circ$  para alimentar 500 cápsulas al módulo 5 y deja espacio libre para que el módulo 3 repita su función de agrupamiento.

El modulo debe girar  $60^\circ$  debido a que contiene 6 divisiones.

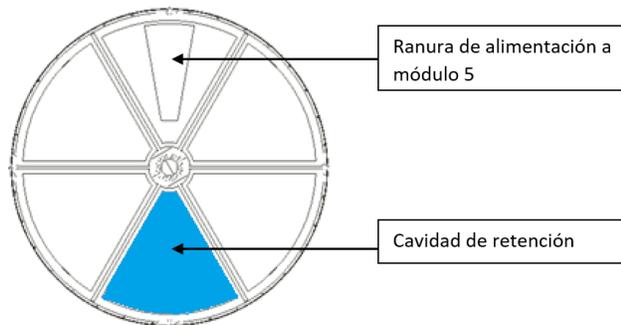


Figura 2.10 Distribución de cavidades en alimentador circular

#### 2.7.4.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA FÁBRICA

- Capacidad de proceso de producto : 8.000 cápsulas/ hora
- Área disponible máxima:  $1\text{m}^2$

### 2.7.5 MÓDULO 5: MÁQUINA FORMADORA LLENADORA Y SELLADORA FFS

Este módulo se compone de la máquina que permite enfundar las cápsulas en un empaque de plástico termosellable.

El plástico termosellable es adquirido de fabricación Ecuatoriana en rollos de empaque laminar, por lo que se requiere que la máquina de tipo FFS realice el formado de la funda, sellando los lados, permitiendo la alimentación del producto en la funda, sellando luego la parte superior y realizando el corte de la funda.

El diagrama de la Figura 2.11 muestra las entradas y salidas de la máquina de empackado para su mejor comprensión.

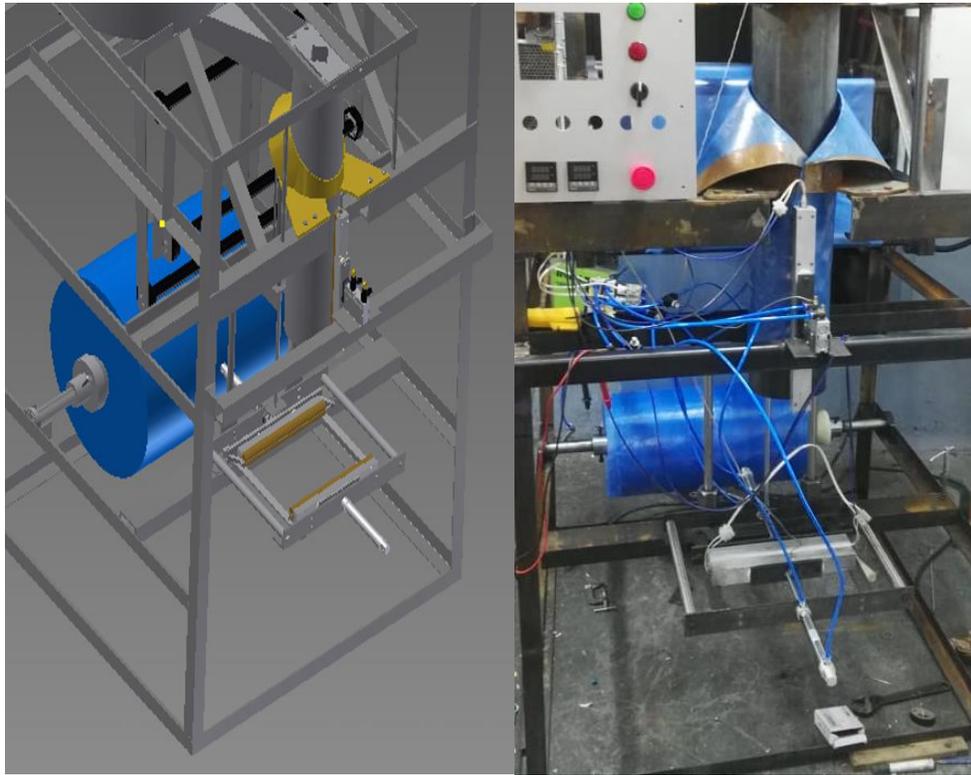


Figura 2.11. Máquina formadora llenadora y selladora ffs

### 2.7.5.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA FÁBRICA

- Tensión de alimentación: 110VAC
- Capacidad de proceso de producto : 8.000 cápsulas/ hora
- Área disponible máxima: 2m<sup>2</sup>
- Gabinete de control principal + HMI

Con la selección de alternativas, y la información obtenida y definida como requisitos, se procede en el capítulo siguiente al dimensionamiento de las partes y diseño de piezas especiales.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO MECATRÓNICO

En la Figura 3.1 se presenta la línea de empacado de cápsulas y sus correspondientes partes.

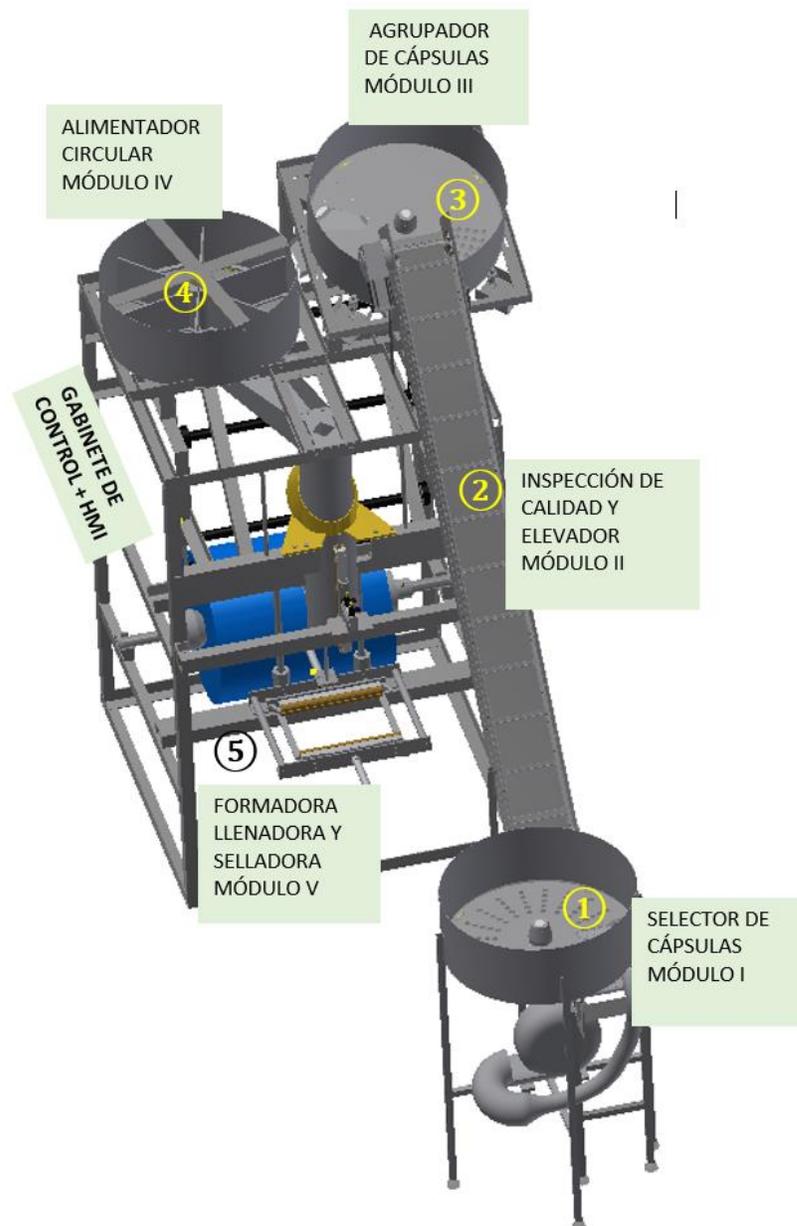


Figura 3.1 Línea de empacado de cápsulas

### 3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La cápsula es una esfera de calibre 17,4mm (0,68 inch).

Aplicando (1) se obtiene el volumen que ocupa una esfera para posteriormente determinar a través de (2) la capacidad máxima de cápsulas que la máquina puede procesar en el contenedor.

$$V_{cápsula} = \frac{\pi \times D^3}{6} \quad (1)$$

Reemplazando los valores del diámetro de la esfera en (1) resulta:

$$V_{cápsula} = \frac{\pi \times 1,74^3}{6}$$

$$V_{cápsula} = 2,76 \text{ cm}^3$$

Donde:

$D$	Diámetro de la esfera, en mm
$V_{cápsula}$	Volúmen de la esfera, en $\text{cm}^3$

$$\text{Capacidad máxima contenida} = \frac{V_{contenedor}}{V_{cápsula}} \quad (2)$$

Para el diseño del contenedor se cuenta con un tanque estándar de aceite de 250kg del cual se va a cortar la parte exterior del contenedor, por lo cual el diámetro del contenedor es fijo y definido en 580 mm y la altura ha definido el diseñador en 50 mm, de manera que aplicando (3) se obtiene:

$$V_{contenedor} = Ab \times h \quad (3)$$

Donde:

$V_{contenedor}$	volumen del contenedor, en $\text{cm}^3$
$Ab$	área de la base, en $\text{cm}^2$
$h$	altura del cilindro, en cm

$$\text{Área base} = \frac{\pi \times D^2}{4} = 2642,08 \text{ cm}^2 = 0,26 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{contenedor}} = \text{Área base} \times \text{altura}$$

$$V_{\text{contenedor}} = 2642,08 \text{ cm}^2 \times 5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{contenedor}} = 13210,4 \text{ cm}^3$$

Mediante lo obtenido aplicando (3) se obtiene la cantidad de cápsulas que se puede procesar mediante (4) con el cilindro de altura útil de 50mm

$$\text{Capacidad máxima contenida} = \frac{V_{\text{contenedor}}}{V_{\text{cápsula}}} \quad (4)$$

$$\text{Capacidad máxima contenida} = \frac{13210,4 \text{ cm}^3}{2,76 \text{ cm}^3} = 4786 \text{ cápsulas}$$

$$\text{Capacidad máxima contenida de capsulas} = 4786 \text{ cápsulas}$$

Se calcula mediante (5) la masa que representa el producto a procesar:

$$\text{Cápsulas por selector} = 4786,4 \text{ cápsulas}$$

$$\text{Masa Pb} = 3\text{g}$$

$$\text{Masa máx contenido} = \text{cápsulas} \times \text{masa de cápsulas} \quad (5)$$

$$\text{Masa máx contenido} = 14358 \text{ g} = 14,36 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que el área útil es de 50 mm y se debe garantizar un espacio para las piezas que permiten la selección de las cápsulas e incluso un espacio para que las cápsulas puedan moverse sin riesgo de desbordarse, por lo cual se define que la altura final del cilindro es 200 mm.

Para continuar con el diseño del contenedor, se debe calcular el peso que el mismo va a soportar por parte del producto como muestra (6):

$$W_{pb} = masa Pb \times gravedad \quad (6)$$

Donde:

$W_{pb}$                       Peso de las cápsulas en el contenedor, en N

$$W_{pb} = 140,87 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 140,87 \text{ N}$$

$$W_{pb} = 140,87 \text{ N}$$

Con el previo conocimiento, continúa el diseño del contenedor de selección de cápsulas, teniendo en cuenta que, el tamiz circular que acarrea las cápsulas para su posterior clasificación se desliza sobre un rodete para evitar rozamiento y desgaste innecesario de las partes de la máquina, éstos rodamientos permiten dividir la carga entregada del producto a la base del contenedor y la transmite en 4 puntos extremos que se muestran en la Figura 3.2, como también en el punto central del platillo base donde está colocado el motorreductor .

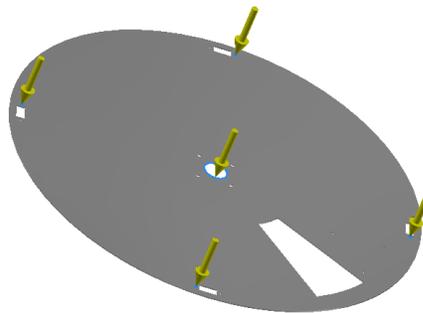


Figura 3.2. Distribución de carga en platillo base

Se debe tomar en cuenta que el contenedor estará sometido a otra carga importante que es el peso del motorreductor y las partes que componen el sistema de clasificación; para éste análisis se utiliza una sección conocida obteniendo como resultado una placa rectangular de dimensiones 580 x 200 x 2mm, como se muestra en la Figura 3.3.

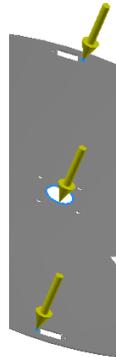


Figura 3.3 Modelado de sección de análisis

Sobre esta placa actúan las fuerzas puntuales generadas por el producto y el peso de los componentes según Tabla 3.1

Tabla 3.1 Tabla de distribución de pesos en clasificador de cápsulas

DESCRIPCIÓN	PESO	UNIDADES
PRODUCTO	140,87	N
PARTES	49,05	N
TOTAL $F_t$	189,92	N

La fuerza total puntual que recibe la placa en análisis viene dada por (7) por lo que se obtiene.

$$F_y = F_t / 5 \quad (7)$$

Donde:

- $F_y$  fuerza puntual en el contenedor, en N  
 $F_t$  fuerza total distribuida en el contenedor, en N

$$F_y = 38\text{N}$$

Conociendo la fuerza que actúa sobre la sección de análisis, se realiza el balance de fuerzas para obtener los diagramas en el plano X-Y, Figura 3.4. Generado en el programa MDSolids.

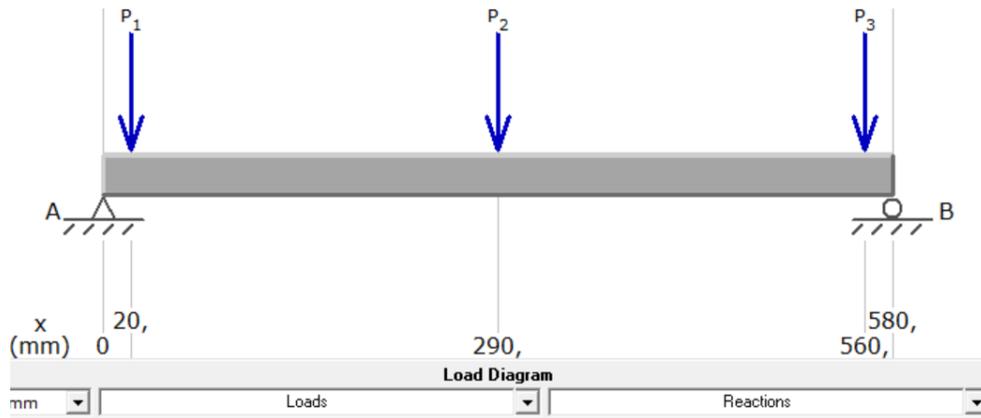


Figura 3.4. Diagrama X-Y de fuerzas en la sección de análisis

$$\sum Fy = 0$$

$$Ra + Rb = 3 \times Fy$$

$$Ra = Rb \text{ (condición de simetría)}$$

$$Ra = \frac{114\text{N}}{2} = 57\text{ N}$$

Con la información obtenida, se realiza el diagrama de cortantes, Figura 3.5.

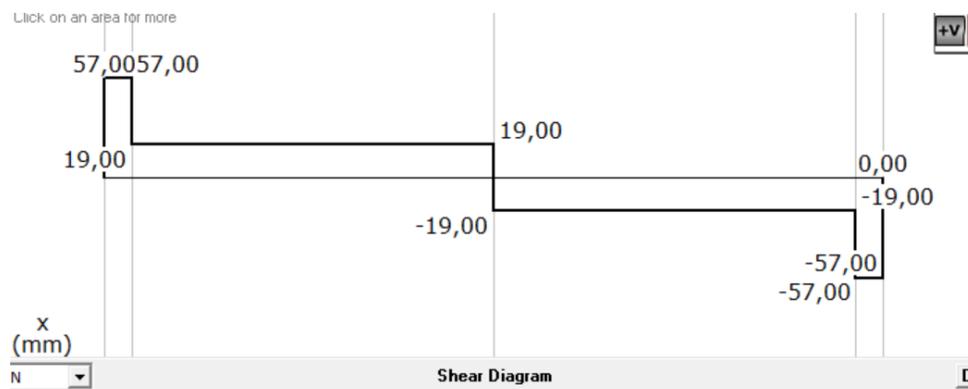


Figura 3.5 Diagrama de fuerzas Cortantes X-Y

Se procede a calcular el momento de cada tramo del diagrama de cortantes para obtener el diagrama de momentos y visualizar cuál es su momento máximo por condiciones de simetría el M1,M4 y M2,M3 son momentos iguales en magnitud con sentido contrario respectivamente como se indica en la Figura 3.6.

$$M1 = 57 \times 0,02 = 1,14 \text{ Nm} = -M4$$

$$M2 = 19 \times 0,27 = 5,13 \text{ Nm} = -M3$$

$$M_{\text{máx}} = M1 + M2$$

$$M_{\text{máx}} = 6,27 \text{ Nm}$$

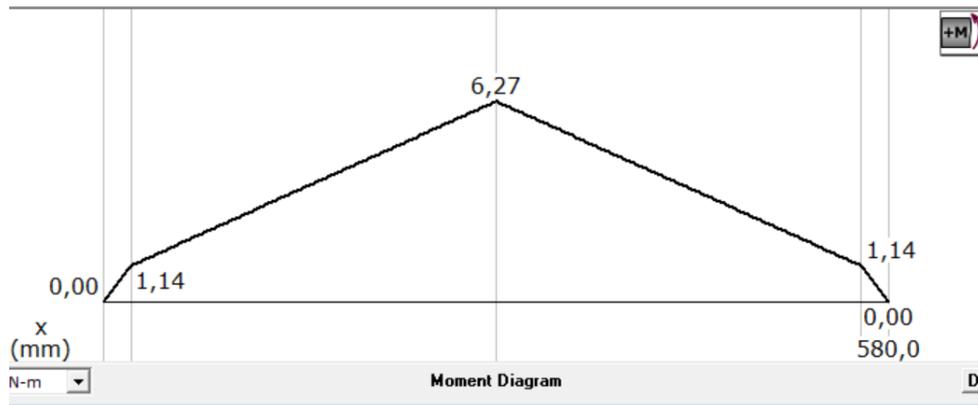


Figura 3.6. Diagrama de momentos Plano X-Y

Pasamos a obtener la inercia para calcular el esfuerzo a flexión pura

$$I = \frac{B \times H^3}{12} = 3.86E - 10 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{Mc}{I} = 16.24 \text{ MPa}$$

Con este esfuerzo, se procede a calcular falla por carga estática conociendo que el  $S_y = 180 \text{ MPa}$  según [16]

$$n = \frac{s_y}{\sigma_{\text{flexion}}} \quad (8)$$

Donde:

$n$	factor de seguridad
$S_y$	límite a la fluencia del material, en MPa
$\sigma_{flexión}$	esfuerzo a flexión pura, en MPa

$$n = \frac{180\text{MPa}}{16.24\text{MPa}}$$

$$n = 11$$

Este resultado sugiere que el material está sobredimensionado por la aplicación en la que se le va a utilizar, por motivos constructivos se ha utilizado el espesor de 2mm, aun cuando podía matemáticamente ser menor el espesor.

A continuación se procede a realizar el análisis de flexión mediante (9) obtenida de [17] para garantizar que ésta se encuentre dentro de los límites expuestos para máquina de uso general de [18].

Cabe recalcar que el peso que soporta ésta viga será de 30N, que representa al peso del motorreductor.

$$y_{max} = \frac{fl^3}{48EI} \quad (9)$$

Donde:

$y_{max}$	deflexión máxima, en m
$F$	carga puntual central, en N
$l$	longitud de la viga de análisis, en m
$E$	módulo de elasticidad del acero 200 GPa
$I$	inercia de la viga, en m <sup>4</sup>

$$y_{máx} = \frac{30 \times 0,58^3}{48 \times 200 \times 10^9 \times 3,86 \times 10^{-10}} = 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Este análisis se realiza para la placa de 2mm de espesor para el cual la flexión es aceptable si se considera como parte de máquina general y la tendencia de flexión se presenta en la Figura 3.7 y su punto crítico, Figura 3.8.

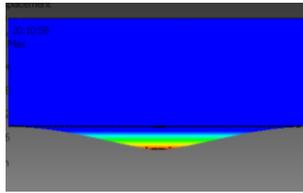


Figura 3.7 Ampliación de tendencia de flexión en platillo base en el punto crítico

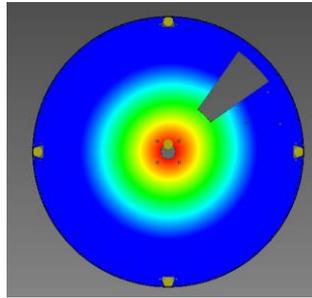


Figura 3.8 Puntos de aplicación de fuerzas y punto de flexión crítica

El siguiente elemento de gran importancia en el diseño es el rodete que se muestra en la Figura 3.9, la función de éste rodete es la de soportar la carga del platillo giratorio de acrílico PPMA y transmitirla al platillo base que funciona como estructura del sistema y a sus vez permitir el libre deslizamiento de el tamiz giratorio

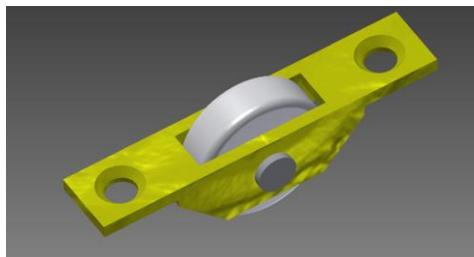


Figura 3.9 Modelo 3D, Rodete de soporte y deslizamiento

A continuación se realiza los cálculos de esfuerzos (10) para comprobar la resistencia (11) del pin central de aluminio que soporte el esfuerzo cortante, Figura 3.10, generado por la carga que el producto le transmite a través del plato giratorio Figura 3.11.

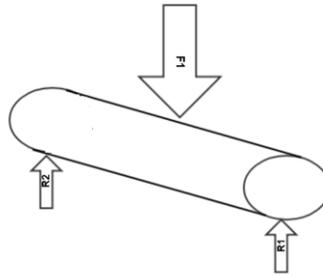


Figura 3.10 Esfuerzo cortante

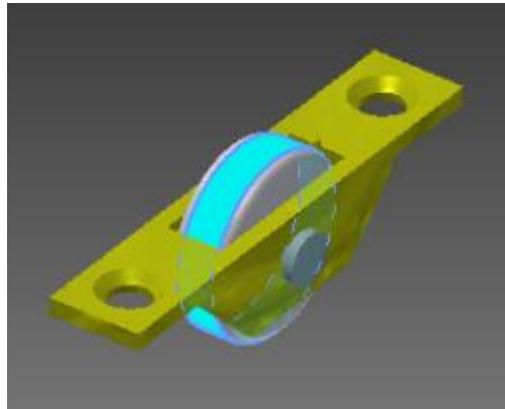


Figura 3.11 Puntos de contacto de carga transmitida al rodete

$$\sigma_{flexión} = \frac{F1}{A} \quad (10)$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$	esfuerzo a flexión pura, en m
$f1$	carga puntual sobre el rodete, en N
$A$	área del pin de análisis, en m <sup>2</sup>

$$n = \frac{sy}{\sigma_{flexión}} \quad (11)$$

Donde:

$n$	factor de seguridad
$Sy$	límite a la fluencia del material, en MPa
$\sigma_{flexión}$	esfuerzo a flexión pura, en MPa

De la ecuación (6) se obtuvo que la carga generada por el producto es de 140,87 N. Por lo que al tener 4 rodetes esta carga será distribuida uniformemente en cada uno de estos con un valor:

$$F1 = 35,22\text{N}$$

El diámetro del pin de aluminio que se analiza es de 5mm, por lo que aplicando (10) se obtiene el esfuerzo y reemplazando en (11) con el  $S_y=55$  MPa del aluminio 6006 [16], resulta un factor de seguridad de:

$$\sigma_{flexión} = 1,796 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\text{esfuerzo max}} = \frac{55 \text{ MPa}}{1,796 \text{ MPa}} = 30,79$$

Con este factor de seguridad queda demostrado que el rodete está sobredimensionado para el uso que va a tener, pero al ser un elemento comercial se lo considera apto para la aplicación; a continuación se comprueba los cálculos con el análisis de cargas del modelado 3D, Figura 3.12.

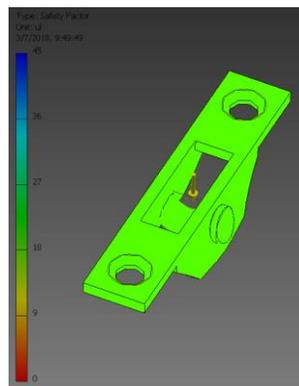


Figura 3.12 Simulación factor de seguridad análisis de cargas

Finalmente el cálculo del motor debe realizarse tomando en cuenta las fuerzas que influyen en el movimiento del disco, Figura 3.13.

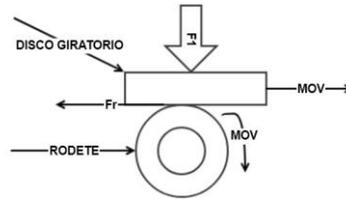


Figura 3.13 Esquema de fuerzas que actúan sobre rodete

$F1 = 35$  N mediante (10) determina la fuerza de arrastre " $Fa$ " que debe tener el disco en el punto de rodaje para movilizar el disco lleno de producto si el coeficiente de rozamiento del plástico sobre el aluminio del pin es  $\mu = 0,6$  [19].

$$Fa = F1 \times \mu \quad (10)$$

Donde:

- $Fa$  fuerza de arrastre, en N
- $F1$  fuerza Normal, en N
- $\mu$  coeficiente de rozamiento

$$Fa = 21 \text{ N}$$

En la Figura 3.14 se puede visualizar que las fuerzas de rozamiento se encuentran en los puntos de rodaje y estas generan un torque " $T$ " que el motor debe vencer para mover el disco

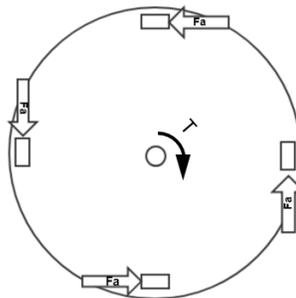


Figura 3.14 Esquema de fuerzas de rozamiento y torque generado

Para encontrar el torque requerido para girar el disco se hace uso de (12) y se obtiene:

$$T = 4(F \times r) \quad (12)$$

Donde:

$T$	torque, en Nm
$F$	fuerza de rozamiento, en N
$r$	radio, en m

Reemplazando (10) en (12) se obtiene:

$$T = 4(21\text{N} \times 0,27\text{m})$$

$$T = 22,68 \text{ Nm}$$

Otro método para el cálculo del torque de motor es mediante la determinación de las inercias que componen el sistema, para de esta manera obtener el valor de torque que el motor debe vencer para mover el sistema.

A continuación se presenta (13) para el cálculo de inercia de un cilindro macizo, Figura 3.15 y de la esfera, Figura 3.16 mediante las cuales se calcula la información de la Tabla 3.2.

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2} \times m \times R_1^2 \quad (13)$$

Donde:

$I_{cilindro}$	Inercia cilindro macizo, en $\text{m}^4$
$m$	masa, en kg
$R_1$	radio, en m

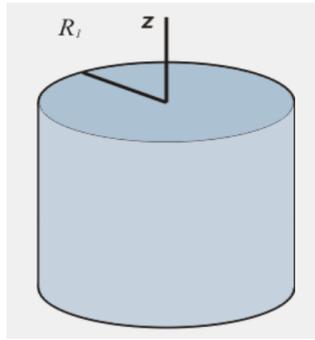


Figura 3.15. Fórmula de Inercia cilindro macizo [20]

$$I_{esfera} = \frac{2}{5} \times mR_1^2 \quad (14)$$

Donde:

$I_{esfera}$	inercia esfera maciza, en $m^4$
$m$	masa, en kg
$R_1$	radio, en m

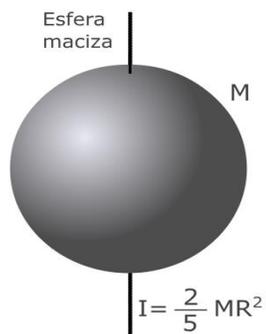


Figura 3.16. Análisis gráfico de fórmula de Inercia esfera maciza [21]

La velocidad lineal del sistema se ha determinado en 0,12m/s ya que permite procesar una cantidad adecuada de producto experimentalmente.

Tabla 3.2 Inercias de componentes en el selector

		disco	cono +eje	producto	
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	1140	1180	1150	
Diámetro	mm	570	70	17,4	
Altura	mm	6	60		
Volumen	m <sup>3</sup>	0,0027	0,0033	1,55077E-06	
Masa	kg	3,06	3,89	3,000000	<b>Inercia Total</b>
Inercia	m <sup>4</sup>	<b>0,12</b>	<b>0,0024</b>	<b>0,4347</b>	<b>0,5614</b>
Velocidad lineal	[m/s]	0,12			
Radio	[m]	0,24			
W	[rad/seg]	0,5			
Alfa	[rad/s <sup>2</sup> ]	5			
T	[Nm]	2,80691313			

En la Tabla 3.2 se verifica la inercia total de los elementos móviles del sistema.

A continuación se obtiene la velocidad angular mediante (15) y aceleración angular (16).

$$w = \frac{v}{r} \quad (15)$$

Donde:

- $w$  velocidad angular, en rad/s
- $v$  velocidad lineal, en m/s
- $r$  radio de giro, en m

Para calcular la aceleración angular se utiliza (15) debido a que todos los elementos parten del reposo:

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad (16)$$

Donde:

- $w$  velocidad angular inicial, en rad/s
- $\alpha$  aceleración angular, en rad/s<sup>2</sup>
- $t$  tiempo, en s

En la Tabla 3.3 se muestra los resultados de la aplicación de (15) y (16) con los parámetros que se muestran a continuación:

Velocidad lineal = 0,3 m/s

Tiempo de aceleración = 0,1 s

Tabla 3.3 Resultados de velocidades y aceleraciones

Dato		Valor
Velocidad lineal	m/s	0,3
Radio	m	0,285
W	rad/s	1,05
Alfa	rad/s <sup>2</sup>	10,52
T	Nm	5,9

Sabiendo que el requerimiento es de  $11\text{Nm} \cong$  se busca un motorreductor que brinde estas prestaciones con la velocidad requerida y se define que el elemento idóneo es el que se muestra en la Figura 3.17 y para mayor detalle sus características se encuentran en la Tabla 3.3.



Figura 3.17 Motorreductor [22]

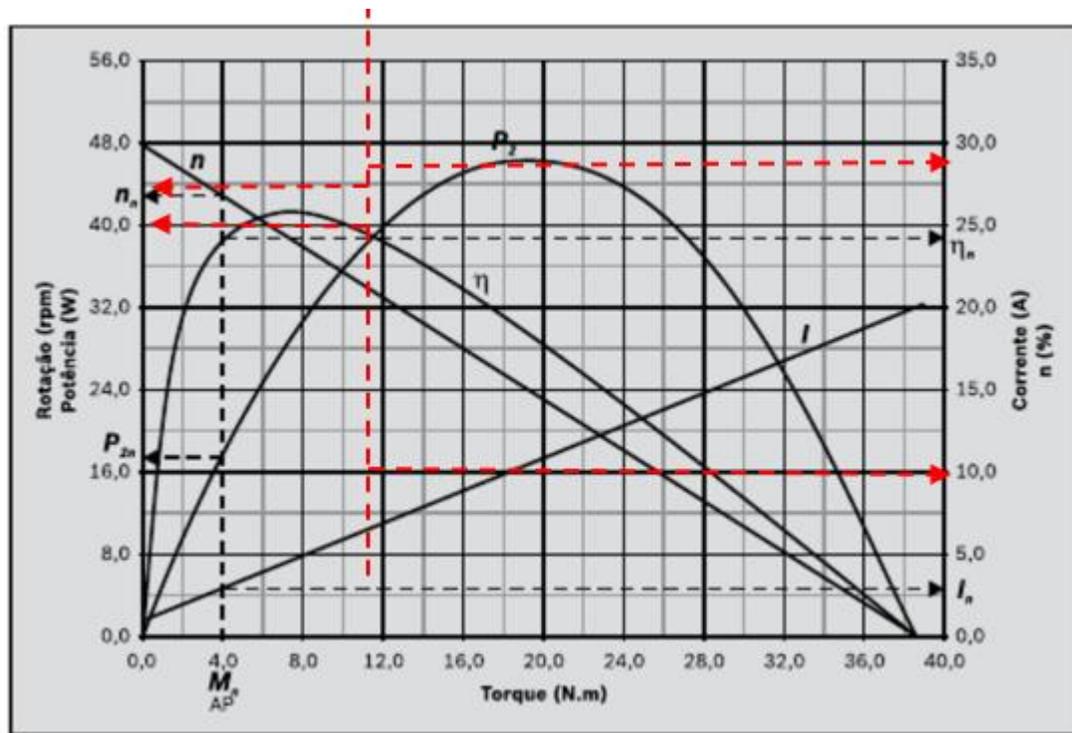


Figura 3.18 Características motor e índice de reductor [22]

Como se puede verificar en la Figura 3.18, se selecciona un motor reductor de 11Nm por lo que se obtiene un consumo de 6A a máxima carga y velocidad 33 Rpm, parámetros que cumplen los requerimientos de diseño.

El resultado obtenido de esta sección se utiliza repetidamente en el diseño de los diferentes módulos, el peso del contenedor de cápsulas incluido el motorreductor y producto genera una fuerza de 260 N a las estructuras de soporte.

### 3.2 DISEÑO DE MÁQUINA SELECTORA DE CÁPSULAS

En la Figura 3.19 se muestra la máquina selectora de cápsulas que corresponde al Módulo I.

Para el diseño de la misma hay que tener en cuenta factores como el producto que va a procesar granulometría y los volúmenes estimados de manejo, para lo cual se expondrá la información que debe tomarse en cuenta para el resto de máquinas que se diseñan de este apartado en adelante.



Figura 3.19. Máquina selectora de cápsulas

### **3.2.1 DISEÑO DEL SELECTOR DE CÁPSULAS**

#### **3.2.1.1 Estructura del selector**

La estructura está compuesta de 4 perfiles cuadrados de 12.5mm de ancho bajo Norma INEN 2415-08 y 40cm de largo que se van a soldar al contenedor mediante SMAW 6011. Se procede a hacer el análisis de las uniones soldadas y verificar el soporte de la carga. Para lo cual hay que comprender la distribución de las fuerzas en la estructura.

El peso que se coloca en el contenedor (motores, ejes, entre otras partes) incluida la carga, se transmite a los tubos cuadrados mediante una unión soldada de patrón, conforme la Figura 3.20.

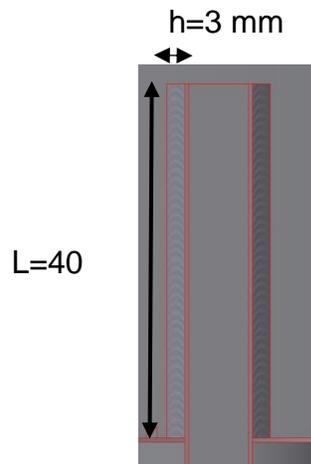


Figura 3.20 Patrón de soldadura y longitudes del cordón

Se analiza las soldaduras de filete entre el tubo cuadrado de la estructura y el cilindro contenedor. En la Figura 3.21 se verifica los componentes de la soldadura de filete.

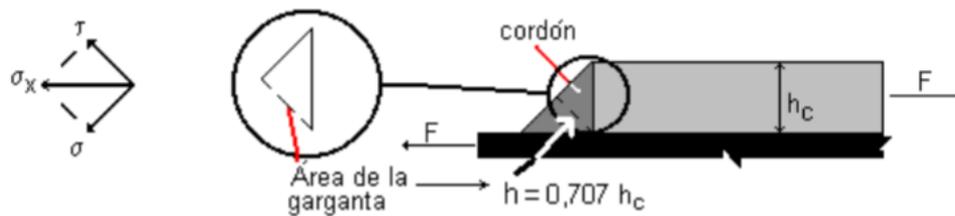


Figura 3.21. Visualización de componentes del filete

El esfuerzo producido por el peso del contenedor y sus partes incluido el producto viene dado por:

$$\sigma = \frac{F}{0,707 \times h_c \times L} \quad (17)$$

Donde:

- $\sigma$  esfuerzo, en MPa
- $F$  peso del contenedor /4 soportes, en N
- $h_c$  altura del cateto, en m
- $L$  longitud del cordón , en m

El peso del contenedor lleno es de 245N por lo que cada soporte estructural soporta la fuerza  $F = 61,25 \text{ N}$

$$\sigma = \frac{61,25}{0,707 \times 0,003 \times 0,080}$$

$$\sigma = 0,36 \text{ MPa}$$

El esfuerzo (17) es producido sobre las soldaduras y en la Tabla 3.4 se verifica que la resistencia última del material es de 427 MPa, lo que significa que el material soporta éste esfuerzo transmitiendo la carga directamente a los soportes estructurales, por lo que se realiza el análisis de esfuerzo sobre los soportes para confirmar que la estructura soporta el peso.

Tabla 3.4 Resistencia del material de aporte en soldadura

NÚMERO DE ELECTRODO	RESISTENCIA ÚLTIMA kpsi (MPA)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi (MPA)	ELONGACIÓN %
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

En la Figura 3.22 se visualiza que la carga que actúa sobre el soporte no genera un esfuerzo superior de 0,36 MPa, que está por debajo del mínimo permisible 320 MPa del AISI 1010, material del cual está hecho el tubo cuadrado del soporte.

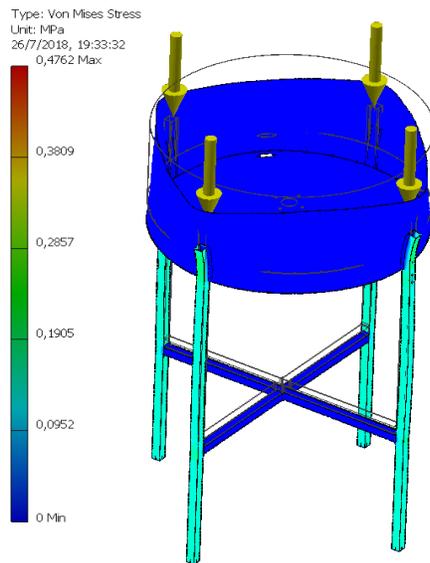


Figura 3.22 Simulación de esfuerzo a compresión por Von Mises

En la Figura 3.23 se visualiza la simulación del factor de seguridad de los soportes estructurales el mismo que indica que el factor es mayor que 15, lo que indica que ésta estructura está apta para soportar el peso con el cual se ha calculado.

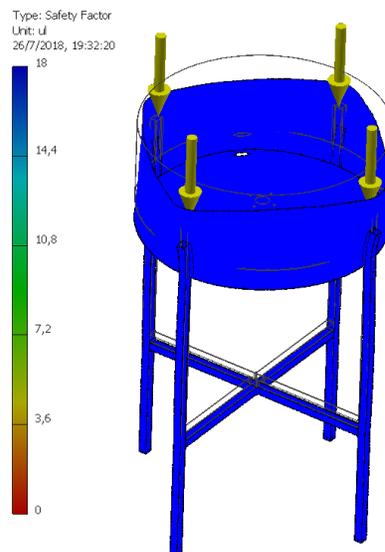


Figura 3.23 Simulación de factor de seguridad

En la Figura 3.24 se visualiza la deformación por desplazamiento en mm que el soporte presenta, el mismo que se encuentra muy por debajo de los límites indicados por Mott [18] para una máquina de uso general.

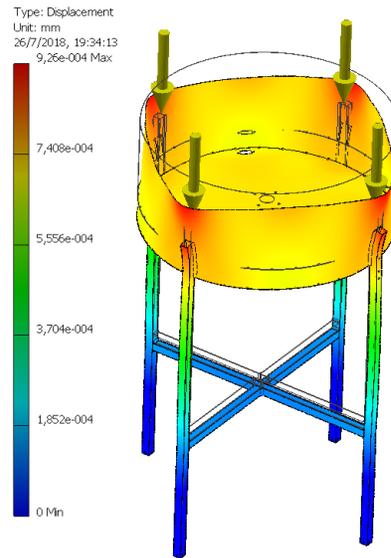


Figura 3.24 Simulación de desplazamiento por esfuerzos

### 3.2.1.2 Sistema de selección por chorro de aire

A continuación se selecciona el soplador que se requiere para que expulse mediante aire a las cápsulas defectuosas, Figura 3.25 y permita el paso de las llenas hacia la banda de inspección.

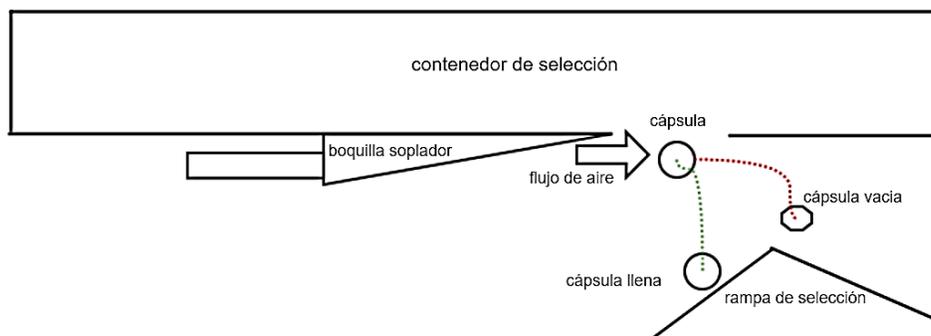


Figura 3.25 Sistema de soplado de cápsulas para clasificación

Se utiliza un soplador comercial para propulsar aire que se direcciona mediante una boquilla para generar una cortina de aire que empuja las cápsulas vacías como se verifica en la figura 3.25, los datos técnicos del soplador son obtenidos del proveedor [23] e indican lo siguiente:

- Caudal a 63 mm de sección  $192 \frac{m^3}{h} = 0,053 \frac{m^3}{s}$

Se procede a calcular la sección del ducto de salida del soplador mediante (18)

$$s = \pi \frac{D^2}{4} \quad (18)$$

Donde:

$S$             sección, en  $m^2$   
 $D$             diámetro, en m

$$s = \pi \frac{0,063^2}{4} = 3,12 \times 10^{-3} m^2$$

Para continuar con el diseño se utiliza la fórmula de caudal que viene dada por (19)

$$Q = V \times S \quad (19)$$

Donde:

$Q$             caudal, en  $m^3/s$   
 $V$             velocidad, en m/s  
 $S$             sección, en  $m^2$

Se obtiene la velocidad despejando (15)

$$V = \frac{0,053}{3,12E - 3} = 17m/s$$

Según el catálogo del fabricante de la tubería [24] por la cual circula el fluido, indica las pérdidas que genera los accesorios como codos y reducciones que se utilizan en la tubería, por lo que las pérdidas en velocidad se explican a continuación:

Codo 90°	1,85 m/s
Reducción de 3" -2"	2,5 m/s

Con esta información y un factor de seguridad, se calcula la velocidad útil (20) para el cálculo real del caudal que se va a manejar para el soplado de las cápsulas

$$V_{air} = V - [(P_{codo} + P_{reducción}) \times fs] \quad (20)$$

Donde:

$V_{air}$	Velocidad del aire, en m/s
$V$	Velocidad nominal del equipo, en m/s
$P_{codo}$	Pérdidas de velocidad en el codo, en m/s
$P_{reducción}$	Pérdidas en la reducción, en m/s
$F_s$	Factor de diseño

$$V_{air} = 17 - [(3,7 + 2,5) \times 2]$$

$$V_{air} = 4,6 \frac{m}{s}$$

Aplicando (19) se calcula el caudal resultante después de las pérdidas y con el que se va a obtener la reducción al aspersor

$$Q_{resultante} = V \times S$$

$$Q_{resultante} = 4,6 \times 3,12E - 3 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{resultante} = 0,014 \frac{m^3}{s}$$

Despejando (19) se procede a calcular la sección de salida con el caudal calculado anteriormente

$$S_{salida} = 0,018 \times 0,010 \text{ m}^2$$

$$S_{salida} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

A continuación despejando (19) se calcula la velocidad de salida del aire por la boquilla rectangular del sistema de soplado, Figura 3.26



Figura 3.26. Boquilla lava tapizados marca JCD

$$V_{soplado} = \frac{Q}{S} \text{ m/s}$$

$$V_{soplado} = \frac{0,014}{1,8E-4} \text{ m/s}$$

$$V_{soplado} = 77,7 \text{ m/s}$$

Mediante la fuerza de arrastre (21) se obtiene la fuerza de empuje que produce el aire sobre la esfera

$$Fd = \frac{v^2 \times \rho \times A \times Cd}{2} \quad (21)$$

Donde:

- $Fd$  fuerza de arrastre, en N
- $V$  velocidad del fluido, en m/s
- $\rho$  densidad del fluido, en kg/m<sup>3</sup> (Densidad del aire es de 0,8kg/ m<sup>3</sup>)
- $A$  área proyectada del cuerpo, en m<sup>2</sup>
- $Cd$  coeficiente de arrastre

Se procede a realizar el cálculo del área proyectada por la esfera (22)

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (22)$$

Donde:

- $A$       área proyectada del cuerpo a empujar, en  $m^2$   
 $D$       diámetro de la cápsula, en m

$$A = \pi \frac{17,4^2}{4} = 2,4 \times 10^{-4} m^2$$

Según [25] el coeficiente de arrastre para una esfera es  $C_d=0,1$  y con toda ésta información se procede con el cálculo de fuerza de empuje (21) del aire sobre la cápsula

$$Fd = \frac{v^2 \times \rho \times A \times Cd}{2}$$

$$Fd = \frac{77,77^2 \times 0,8 \times 2,4E - 4 \times 0,1}{2} \text{ N}$$

$$Fd = 0,06 \text{ N}$$

Se considera el peso de la cápsula para obtener la aceleración que imprime la fuerza de empuje a la misma (23)

$$F = m \times a \tag{23}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0,06 \text{ N}}{0,003 \text{ kg}} = 19 \text{ m/s}^2$$

Partiendo del principio de que las cápsulas experimentan caída libre, se obtiene el tiempo que se demoran en recorrer la distancia sobre la cual actúa la fuerza de empuje (21), para determinar el desplazamiento que la cápsula sufre (25) por la aplicación de la aceleración (23) en el tiempo de interacción (24).

$$t = \sqrt{\frac{d \times 2}{g}} \tag{24}$$

Donde:

- $t$       tiempo, en s  
 $d$       distancia, en m  
 $g$       gravedad, en  $9,81 \text{ m/s}^2$

$$t = 0,05 \text{ s}$$

A continuación, se calcula el desplazamiento (25) que sufre la cápsula normalmente justificando que cualquier cápsula de menor peso será expulsada fuera de la rampa que conecta al siguiente módulo, logrando así la clasificación entre llenas y vacías

$$d = \frac{a \times t^2}{2} \quad (25)$$

Donde:

- $d$  distancia, en m
- $a$  aceleración, en  $\text{m/s}^2$
- $t$  tiempo, en s

$$d = \frac{19 \times 0,05^2}{2}$$

$$d = 0,024 \text{ m}$$

En (24) se verifica que las cápsulas llenas sufren un desplazamiento de 2,4cm por lo que se ha colocado un desfase entre el punto de inicio de la caída y el punto de finalización de la trayectoria, para que de ésta manera se garantice que las cápsulas aceptables no sean desechadas, y por otra parte, las cápsulas de menor peso sean expulsadas con facilidad, debido a que éstas experimentan un desplazamiento de 7,5cm, por lo que finalizan su trayectoria en la rampa de desecho, cabe recalcar que esta rampa es de posición ajustable para su correcta calibración y funcionamiento.

### 3.3 DISEÑO DE BANDA PARA INSPECCIÓN Y ALIMENTADOR

#### VERTICAL

El Módulo II se compone de una banda para inspección de calidad por un operador que verifique cualquier anomalía que pudiera presentarse en el producto y a su vez cumpla la función de elevar el producto alimentando al siguiente módulo, Figura 3.27.

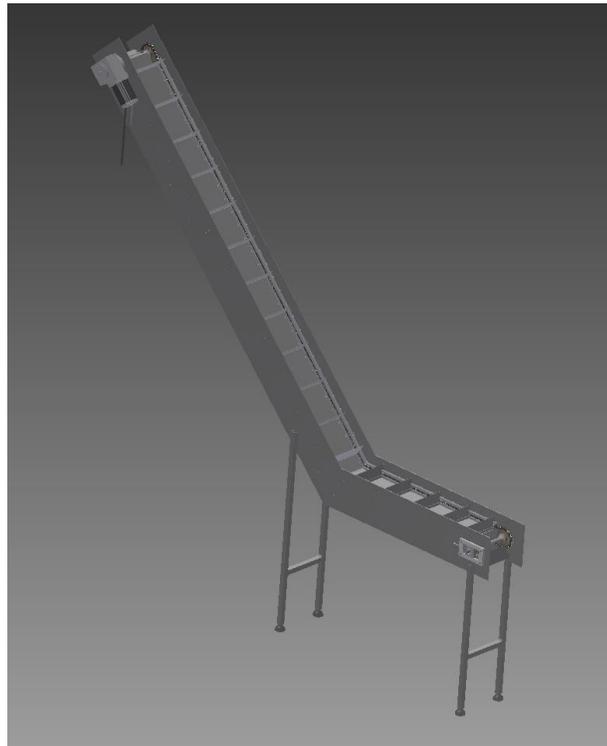


Figura 3.27 Banda de inspección de calidad y alimentador elevador

#### 3.3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Este módulo debe ser conectado a continuación del selector de cápsulas, de tal manera que las cápsulas que no fueron rechazadas pasen a la etapa de inspección, mediante una banda horizontal con velocidad de acarreo constante para posteriormente ser guiadas al contenedor de agrupamiento.

El requerimiento de diseño es permitir a un operador realizar la inspección visual del producto, así como elevar el mismo hasta el depósito de conteo ubicado 1,4m sobre el nivel de la banda de inspección que a su vez se encuentra a 0,8m del nivel del suelo. Para realizar éstas dos funciones se dispone de un espacio de 2,1m paralelos a la horizontal, como se verifica en la Figura 3.28, en los cuales, se debe garantizar que exista el espacio para inspección de calidad tanto como el ángulo suficiente para que el elevador funcione de manera adecuada, sin desbordar producto mientras lo eleva.

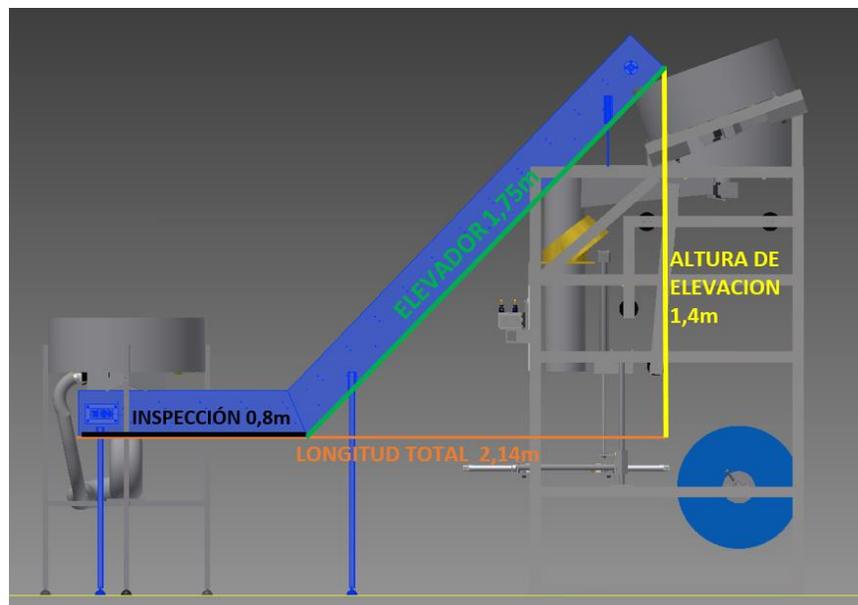


Figura 3.28 Espacios físicos y ubicación del alimentador

Las demás consideraciones son requerimientos del cliente y criterios del diseñador:

Ancho de la banda (mm) = 200 mm

Tipo de material de proceso y granulometría = 17,3 mm Diámetro

Capacidad de transporte (kg/hora)= 24 kg/hora

Velocidad de la banda (m/s) = 20 mm/s

Una vez definida ésta información, se requiere delimitar el área de cada empujador; esto lo hace sabiendo cuantas cápsulas puede acarrear el empujador en la inclinada sin que las cápsulas desborden el empujador o la pared de la banda.

A continuación, definimos el alto de empujador y cantidad de cápsulas que pueden agrupar por división utilizando (26)

$$\#Pb = \frac{A_{empujador}}{A_{pb}} \quad (26)$$

Donde:

$\#Pb$	Cantidad de Cápsulas, en unidades
$A_{empujador}$	Área del empujador, en $\text{cm}^2$
$A_{pb}$	Área de cápsula, en $\text{cm}^2$

$$A_{empujador} = 20 \times 5 = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_{pb} = 2,4 \text{ cm}^2$$

$$\#Pb = 41 \text{ cápsulas/división}$$

Para garantizar que las cápsulas puedan ser vistas de manera contrastada con la base de la banda con un adecuado control de calidad, se debe permitir que las cápsulas rueden contando con un espacio para hacerlo, porque la separación entre empujadores debe ser lo suficientemente grande como para permitir este fin y suficientemente pequeño como para no gastar espacio y transportar el producto de manera más rápida.

Para lograr éste requerimiento de diseño se verifica el área que requerirá el producto esparcido en la base mediante (27)

$$A_{41PB} = 41 \times A_{PB} \quad (27)$$

Donde:

$A_{41PB}$	área que 41 cápsulas ocupan, en $\text{cm}^2$
$A_{pb}$	área de cápsula, en $\text{cm}^2$

$$A_{41PB} = 41 \times 24 = 98,4 \text{ cm}^2$$

Si el ancho de la banda es de 20 cm la distancia entre empujadores viene dada por la división del área que ocupa las 41 cápsulas para el ancho de la banda, como se muestra a continuación:

$$L = \frac{98,4 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm}}$$

$$L = 5 \text{ cm}$$

La longitud requerida es de 5 cm pero en vista que las cápsulas deben rodar y tener un espacio en el cual entre la mano de un operario para remover cualquier defecto, con facilidad se consideran una longitud = 15 cm entre empujadores, lo que brinda la cantidad de cápsulas por ciclo, según (29)

$$\#empujadores = \frac{5,24}{0,15} = 35 \text{ empujadores} \quad (28)$$

$$P_{cadena} = 5,24 \text{ m}$$

Donde:

$\# Empujadores$  cantidad de empujadores, en unidades

$P_{cadena}$  perímetro de la cadena, en m

$$Pb_{ciclo} = \#empujadores \times \#PB \quad (29)$$

Donde:

$Pb_{ciclo}$  cantidad de cápsulas alimentadas en una vuelta, en unidades

$$Pb_{ciclo} = 35 \times 41 = 1435 \frac{\text{cápsulas}}{\text{ciclo}}$$

Conociendo la velocidad de avance a la cual se va a configurar la banda, 2 cm/seg, se puede verificar el recorrido de la banda en una hora (30) mediante las conversiones siguientes:

$$\text{Recorrido en 1 hora} = \text{velocidad de la banda} \times 36 \quad (30)$$

$$\text{Recorrido en 1 hora} = 72 \text{ m}$$

Partiendo de (30) se puede dividir entre el perímetro de la cadena " $P_{cadena}$ " y verificar cuantos ciclos cumple en una hora (31), y así comprobar que el diseño cumple la solicitud funcional del cliente respecto a la capacidad de transporte

$$\# \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} = \frac{72}{5,24} = 13,7 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \quad (31)$$

Con lo obtenido en (31) al multiplicar por (29) obtenemos la cantidad de cápsulas transportadas en una hora (33).

$$\#_{PB/hora} = 13,7 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \times 1.435 \frac{\text{cápsulas}}{\text{ciclos}} \quad (33)$$

$$\#_{PB/hora} = 19.659 \frac{\text{cápsulas}}{\text{hora}}$$

Tomando en cuenta que la solicitud del cliente fue de 8.000 cápsulas/hora, el diseño sobrepasa esas expectativas en un 145%.

### 3.3.2. DISEÑO BANDA DE INSPECCIÓN Y ELEVADOR DE CÁPSULAS.

La banda será construida sobre una estructura soldada a modo de chasis para evitar que con el tiempo las uniones empernadas o remachadas fallen, debido a que ésta máquina cuenta con gran cantidad de piezas móviles, por lo que no sería conveniente que estas chocaran o interfirieran en la estructura de algún punto.

Se procede a definir el peso del producto (35) usando (26) sabiendo que el peso de cada cápsula es de 3 g, y que cuando la parte superior está cargada la parte inferior está en la

etapa de retorno, por lo que los 35 empujadores se dividen en 2 y se obtiene el número nominal de cápsulas que circulan por la banda constantemente por (34).

$$\#Pb = 41 \text{ cápsulas} / \text{división} \times 18 = 738 \text{ cápsulas} \quad (34)$$

$$W_{\text{cápsulas}} = 738 \times 0,003 \text{ kg} = 2,21 \text{ kg} \quad (35)$$

La carga del producto sobre la estructura no es muy significativa respecto de los elementos que la componen pero de igual manera se han considerado en el diseño.

La cadena tiene un peso de 1 kg/m lineal, los empujadores tienen un peso de 0,3 kg cada uno y el motor tiene un peso de 3 kg.

Con esta información procedemos a calcular el peso de los elementos que componen la banda (36)

$$W_{\text{elementos}} = [(1\text{kg} \times 2P_{\text{cadena}}) + (35 \times 0,3 \text{ kg})] \times g \quad (36)$$

Donde:

$W_{\text{elementos}}$	peso de los elementos que componen la banda, en N
$P_{\text{cadena}}$	perímetro de la cadena, en m
$g$	gravedad, en $9,81\text{m/s}^2$

$$W_{\text{elementos}} = [(1\text{kg} \times 2 \times 5,24) + (35 \times 0,3 \text{ kg})] \times g = 205,8 \text{ N}$$

El peso total que la banda soporta se indica en la Figura 3.29, como influiría en la estructura si sobrepasara los límites, pero como el factor de seguridad es mayor que 20 la estructura no está sujeta a fallo por la carga que se coloque.

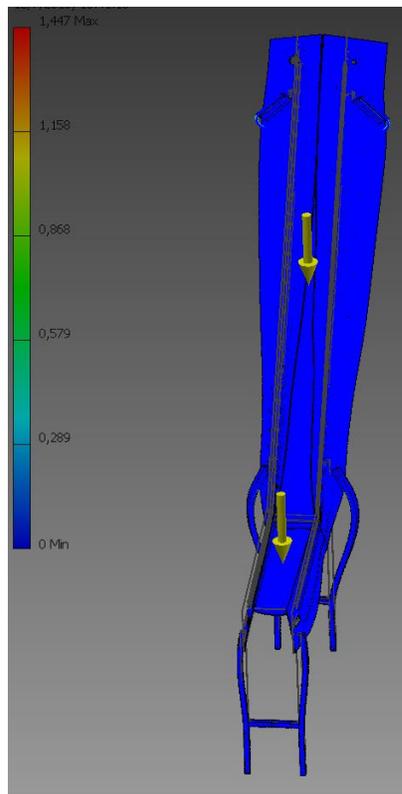


Figura 3.29 Factor de seguridad y análisis de cargas en banda

La banda cuenta con 10,5 m de cadena que se encuentra deslizando entre las guías de metal, por lo que a continuación calculamos el rozamiento de la cadena con las guías para delimitar que potencia del motor debemos utilizar.

El coeficiente de rozamiento de acero sobre acero  $\mu = 0,57$  obtenido de [19].

Hay que tomar en cuenta, que la banda tiene dos secciones una horizontal y una inclinada, por lo que el análisis se divide en dos partes: horizontal e inclinada.

### 3.3.1.1 ANÁLISIS HORIZONTAL

La cadena tiene una longitud de 0,8m por lado tenso y lado flojo en cada extremo por lo que la longitud horizontal de cadena " $LH_{cadena}$ " es de 3,2m, y éste dato se utiliza para el cálculo de rozamiento que tiene cada eslabón con la base metálica de guía, como muestra la Figura 3.30.

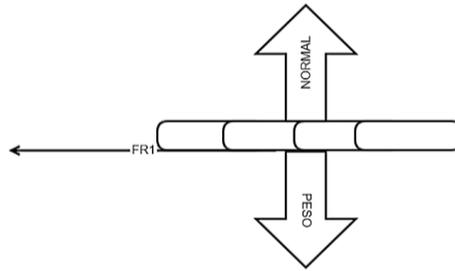


Figura 3.30 Diagrama de fuerzas de cada eslabón

Primeramente, calculamos el peso de las partes “ $W_{ph}$ ” (37) que influyen en el movimiento y éste peso se transmitirá uniformemente en los eslabones, permitiéndonos obtener el valor de rozamiento que ejerce los eslabones sobre las guías y así obtener la fuerza que debe ejercer el motor para mover esta sección.

$$W_{ph} = [(m \text{ cadena}) + (m \text{ empujadores}) + (m \text{ cápsulas})] \times g \quad (37)$$

$$W_{ph} = [(LH_{cadena} \times 1\text{kg}) + (\text{empujadores } H \times 0,3\text{kg}) + (0,003 \times 6 \times 41)] \times g$$

Donde:

$W_{ph}$  peso de partes sección horizontal, en kg

$m \text{ cadena}$  masa de la cadena, en kg

$m \text{ empujadores}$  masa de los empujadores, en kg

$g$  gravedad, en  $9,81\text{m/s}^2$

$LH_{cadena}$  longitud de cadena horizontal, en m

$\text{Empujadores } H$  # de empujadores en la sección horizontal, en unidades

$$W_{ph} = [(LH_{cadena} \times 1\text{kg}) + (\text{empujadores } H \times 0,3\text{kg}) + (0,003 \times 6 \times 41)] \times g$$

$$W_{ph} = [(3,2 \times 1) + (12 \times 0,3) + (0,003 \times 6 \times 41)] \times 9,81 = 73,97 \text{ N}$$

Aplicando (37) en (38) obtiene:  $FR1$ , fuerza de rozamiento de la sección horizontal.

$$FR1 = W_{ph} \times \mu \quad (38)$$

$$FR1 = 73,97\text{N} \times 0,57 = 42,16 \text{ N}$$

El resultante de tensión en este apartado para el motor es de 42,16N que se debe sumar al resultado de la componente en x del análisis inclinado para obtener el valor total de tensión en el eje x, para luego sumar éste valor con el resultante de tensión de la sección inclinada y así calcular el torque del motor.

### 3.3.1.2 ANÁLISIS INCLINADO

La sección inclinada tiene un ángulo de inclinación respecto a la horizontal de 46 °. Por lo que al trasladar el ángulo al diagrama de fuerzas se puede visualizar en la Figura 3.31, cuales son las componentes del peso que actúan en el cálculo de rozamiento.

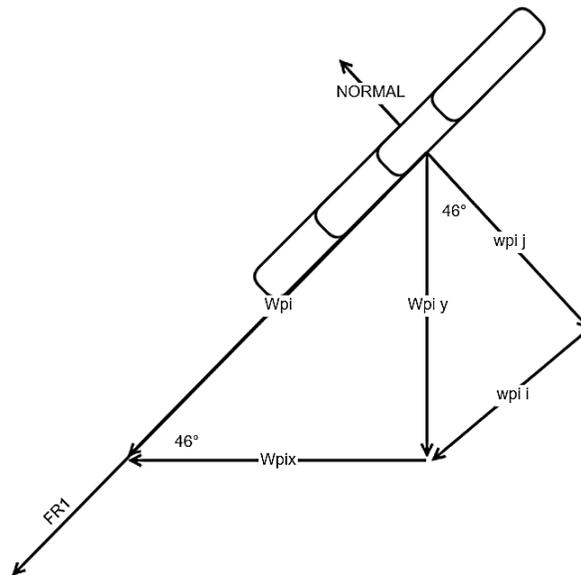


Figura 3.31 Diagrama de fuerzas eslabón inclinado

En primer lugar, se calcula el peso de las partes inclinadas “Wpiy” (39) que influyen en el movimiento y éste peso se transmitirá uniformemente en los eslabones permitiendo obtener el valor de rozamiento que ejercen los eslabones sobre las guías y las componentes de resistencia que otorga el peso en el eje x como el eje, y de éste modo obtener la fuerza que debe ejercer el motor para mover la banda.

$$W_{pij} = [(m \text{ cadena}) + (m \text{ empujadores horizontal}) + (m \text{ cápsulas})] \times g$$

$$W_{pij} = [(L \text{ cadena} \times 1\text{kg}) + (\text{empujadores } i \times 0.3\text{kg}) + (0.003 \times 6 \times 41)] \times g \quad (39)$$

Donde:

$W_{pi}$	peso de partes sección inclinada, en kg
$m_{cadena}$	masa de la cadena, en kg
$m_{empujadores}$	masa de los empujadores, en kg
$g$	gravedad, en $9,81\text{m/s}^2$
$L_{cadena}$	longitud de cadena inclinada, en m
$Empujadores\ i$	# empujadores en la sección inclinada, en unidades

$$W_{piy} = [(7 \times 1) + (24 \times 0.3) + (0.003 \times 6 \times 41)] \times 9.81 = 168.3 \text{ N}$$

Debido a que el plano es inclinado el peso que se tiene en (37) debe descomponerse para obtener el valor de la componente que influye directamente “ $W_{pi}$ ” (40) y la normal “ $W_{pij}$ ” (41) que es la que influye en el cálculo de la FR2 mediante (42), como también la componente en x “ $W_{px}$ ” (43) que se debe sumar a la fuerza de rozamiento del módulo horizontal calculado en (38), para obtener la resistencia real en el eje x y posteriormente obtener la resultante total y con ella calcular el torque requerido para mover la banda.

$$W_{pi} = \frac{W_{piy}}{\sin \alpha} \quad (40)$$

$$W_{pi} = \frac{168.3}{\sin 46} = 233.96 \text{ N}$$

$$W_{pij} = w_{piy} \cos \alpha \quad (41)$$

$$W_{pij} = 168.3 \times \cos 46 = 242.27 \text{ N}$$

Aplicando (39) en (40) obtenemos: FR2, fuerza de rozamiento de cada eslabón.

$$FR2 = W_{pij} \times \mu$$

$$FR2 = 242.27 \text{ N} \times 0.57 = 138.09 \text{ N} \quad (42)$$

La componente en el eje x se calcula mediante (41)

$$W_{px} = \frac{W_{piy}}{\tan \alpha} \quad (43)$$

$$W_{px} = \frac{168.3}{\tan 46} = 162,52 \text{ N}$$

El valor obtenido en (38) y en (43) y se reemplazan en (44) para obtener la tensión T1

$$T1 = FR1 + W_{px} \quad (44)$$

$$T1 = 42.16 + 162.52 = 204.68 \text{ N}$$

El valor obtenido en (40) y en (42) y se reemplazan en (45) para obtener la tensión T2

$$T2 = W_{pi} + FR2 \quad (45)$$

$$T2 = 242.27 + 138.09 \text{ N}$$

$$T2 = 380.36 \text{ N}$$

El resultante a vencer para el motor es FR (46) obtenida de reemplazar T1 y T2

$$FR = T1 + T2 \quad (46)$$

$$FR = 204.68 + 380.36 \text{ N}$$

$$FR = 585.04 \text{ N}$$

Como se verifica en la Figura 3.32, la fuerza "FR" genera un torque resultante "TR" que el motor debe vencer para generar movimiento en la banda en el sentido de ascenso.

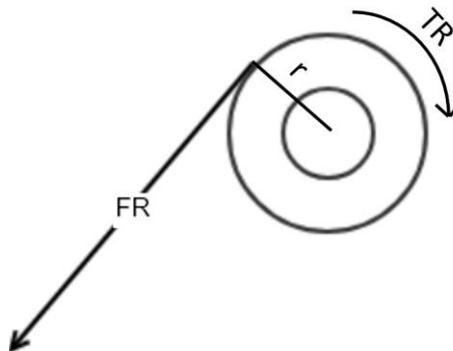


Figura 3.32 Torque generado

Se procede a calcular el torque resultante TR (47) con el radio de la catalina que se utiliza en el sistema de tracción  $r=35\text{mm}$

$$TR = FR \times r \quad (47)$$

$$TR = 585,04 \times 0,035 = 20,48 \text{ N.m}$$

Con esta información se procede a buscar el motor que nos oferte un torque aceptable para la aplicación, el cual se define de la Figura 3.33.

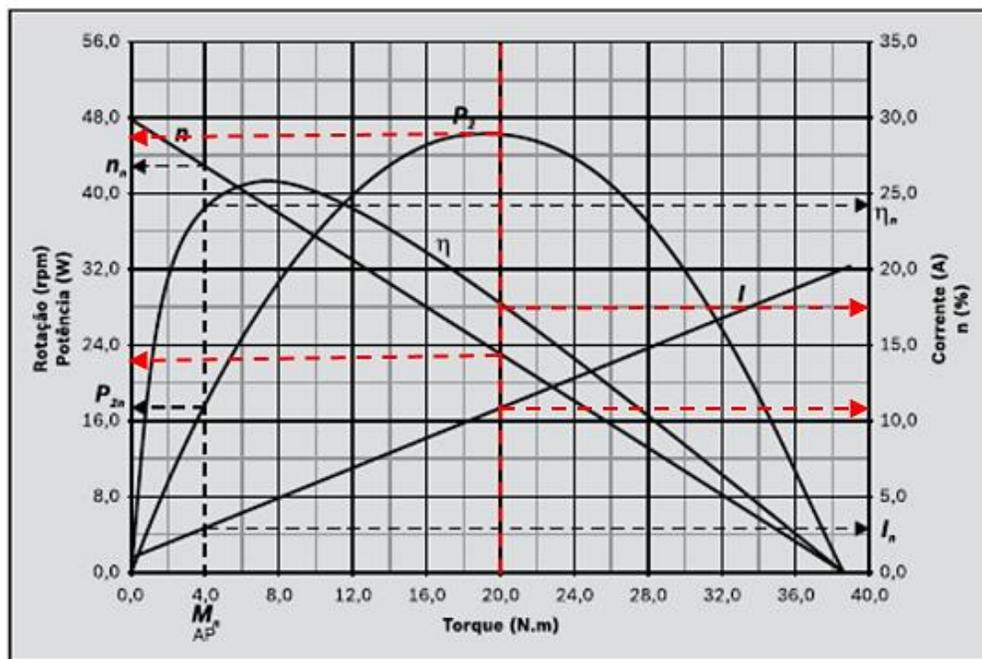


Figura 3.33 Datos del motor seleccionado

Se selecciona un motor con torque de 20 Nm que garantiza el funcionamiento del alimentador con una velocidad de 23 rpm y corriente de consumo de 11 A.

Se procede a calcular la resistencia de los pernos tensores para la carga especificada resultante  $FR$  según se muestra la Figura 3.34

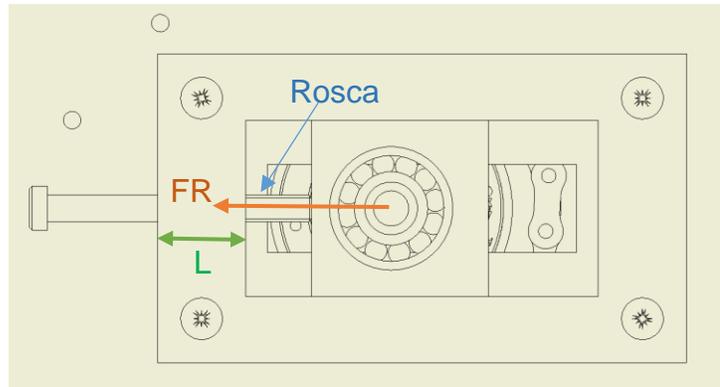


Figura 3.34 Diagrama de fuerzas sistema tensor

Para el cálculo del esfuerzo cortante que soportan los filetes de la rosca en el perno como en la plancha roscada se utiliza (48)

$$\sigma_c = \frac{FR}{A_{filete}} \quad (48)$$

Donde:

$\sigma_c$	esfuerzo cortante en los filetes de perno, en MPa
$FR$	fuerza de tensión resultante, en N
$A_{filete}$	área de filete sometido a cortante, en $m^2$

El área del filete sometida a cortante viene dada por (49) y depende de un coeficiente que varía en función de la normativa bajo la cual se realiza el perno, como lo muestra la Tabla 3.5.

$$A_{filete} = \pi \times D \times Wi \times p \times nf \quad (49)$$

Donde:

$A_{filete}$	área de filete sometido a cortante, en $m^2$
$D$	diámetro de perno, en mm

$W_i$	constante del tipo de rosca
$p$	paso de rosca, en mm
$nf$	número de roscas en contacto $1 \leq nf \leq \frac{L_t}{p}$
	$nf = \frac{25}{1,25} = 20$
$L_t$	longitud de rosca, en m

Tabla 3.5 Coeficientes  $W_i$ ,  $W_o$  para roscas estándar

Tipos de filete	$W_i$	$W_o$
UNS/ISO	0,8	0,88
CUADRADA	0,5	0,5
ACME	0,77	0,63
DIENTE DE SIERRA	0,9	0,83

Aplicando (49) y reemplazando en (48) se obtiene lo siguiente, para un perno M8 de paso 1,25 utilizando un  $nf$  de 2 según la recomendación de [26].

$$A_{filete} = \pi \times D \times W_i \times p \times nf$$

$$A_{filete} = \pi \times 0,008 \times 0,8 \times 0,00125 \times 20$$

$$A_{filete} = 5,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma_c = \frac{FR}{A_{filete}}$$

$$\sigma_c = \frac{292,5 \text{ N}}{5,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_c = 0,582 \text{ MPa}$$

El esfuerzo que se obtiene en éste cálculo indica que está debajo del máximo permisible 320 MPa del AISI1010, material del cual están hechos los pernos, por lo cual el perno va a soportar la tensión de la cadena y el funcionamiento.

### 3.4 DISEÑO DE AGRUPADOR DE CÁPSULAS

En la Figura 3.35 se muestra la máquina agrupadora de cápsulas que corresponde al módulo III.



Figura 3.35 Agrupador de cápsulas

Este módulo cuenta con un contenedor de cápsulas que se ha calculado en la sección 3.1, su estructura de soporte va a calcularse en el módulo 5, el cual va a soportar el peso de este módulo.

Tabla 3.6 Consideraciones de diseño

DETALLE	VALOR
Área base	13210,4 cm <sup>3</sup>
Capacidad de cápsulas	4786
Peso de las cápsulas	140,87 N

En esta sección se utiliza un disco de PMMA de 50 orificios, repartidos en 3 grupos en el mismo, que permite realizar el agrupamiento en múltiplos de 50 y obtener en 10 grupos el agrupamiento de 500 cápsulas.

Se utiliza el disco de PMMA por su versatilidad en cuanto a la fabricación del mismo y debido a que el producto que se maneja no requiere de un material especial o muy fuerte por lo cual este material es adecuado para esta aplicación.

Para el sistema vibratorio se utiliza un motor de corriente alterna 110 V y un contrapeso que genera la vibración con la frecuencia de la rotación del motor y ésta es variable, por lo que se puede calibrar de acuerdo a la necesidad del alimentador, el contrapeso se selecciona el momento de la calibración de la máquina.

### 3.5 DISEÑO DE ALIMENTADOR CIRCULAR

En la Figura 3.36 se muestra la máquina alimentadora de cápsulas previamente agrupadas que representa el módulo IV.

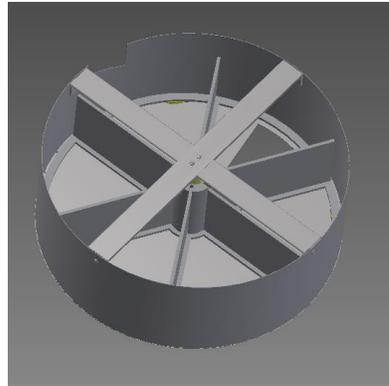


Figura 3.36 Alimentador de cápsulas agrupadas

Éste módulo cuenta con un eje ranurado de 15cm de largo que se hace solidario al eje del motor y gira permitiendo el alimentar las 500 cápsulas contenidas en cada espacio. El cálculo del contenedor se realizó al inicio de este capítulo, su estructura de soporte va a calcularse en el módulo 5 que es el que va a soportar el peso de este módulo.

## 3.6 DISEÑO DE FFS

En la Figura 3.37 se muestra la máquina formadora llenadora y selladora FFS de bolsas plásticas termosellables; ésta máquina representa al módulo 5 y cabe recalcar que dicho módulo sirve de estructura base para los módulos II, III, IV y en éste módulo se ubica el gabinete de control y la HMI.

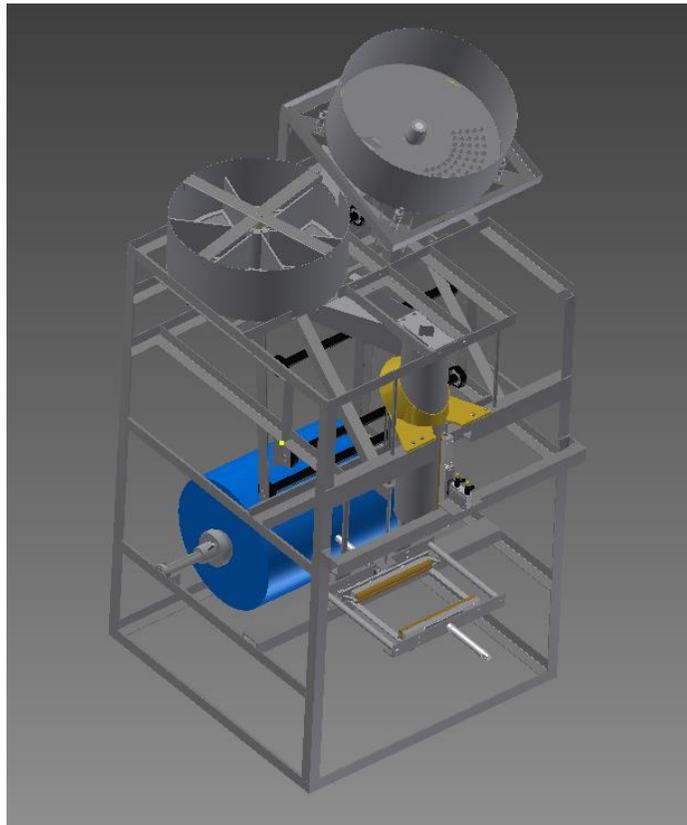


Figura 3.37 Máquina FFS

### 3.6.1 MECANISMOS Y TRACCIÓN DE LA FFS

#### 3.6.1.1 Dimensionamiento de Cilindros neumáticos

Se inicia con el cálculo de las partes que influyen en la estructura para así definir la robustez de la misma, para ello se calcula la inercia del rollo de plástico (50) conociendo

que el proveedor del plástico entrega el mismo en rollos de 25 kg, con una medida 52 cm de largo y 30 cm de diámetro, para posteriormente calcular el cilindro que permite el movimiento del carro vertical y las mordazas de sellado.

$$I = \frac{1}{2} \times m \times (r_1^2 + r_2^2) \quad (50)$$

Donde:

$I$	Inercia, en $\text{kg} \times \text{m}^2$
$m$	masa, en kg
$r_1$	radio exterior, en m
$r_2$	radio interno, en m

Para determinar la masa se hace uso de (51)

$$m = V \times \rho \quad (51)$$

Donde:

$V$	volumen, en $\text{m}^3$
$m$	masa, en kg
$\rho$	densidad del material, en $\text{kg}/\text{m}^3$

Para determinar el volumen  $V$  se hace uso de (52)

$$V = \frac{\pi}{4} \times (d_{ext}^2 - d_{int}^2) \times L \quad (52)$$

Donde:

$V$	volumen, en $\text{m}^3$
$d_{ext}^2$	diámetro exterior, en m
$d_{int}^2$	diámetro interior, en m
$L$	longitud del rollo, en m

En la Tabla 3.6, se verifica las inercias de los elementos móviles giratorios que entran en contacto con la lámina plástica y giran conforme el plástico es alimentado para formar la funda.

Tabla 3.7 Inercia de componentes rotatorios

Componentes	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)	Inercia m <sup>4</sup>
Rollo plástico	910	0,028	25,07	7,45
Rodillo tensor 1	7850	0,00027	2,16	0,63
Rodillo tensor 2	7850	0,00027	2,16	0,63
Rodillo tensor 3	7850	0,00027	2,16	0,63
Rodillo tensor 4	7850	0,00027	2,16	0,63
Rodillo tensor 5	7850	0,00027	2,16	0,63
			<b>Inercia Total</b>	<b>=10,6</b>

A continuación se procede a obtener la velocidad angular mediante (53) y aceleración angular (54) para determinar la fuerza de tensión que soportará la lámina plástica el momento de la alimentación para el formado de una nueva funda.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (53)$$

Donde:

- $\omega$       velocidad angular, en rad/s
- $v$         velocidad lineal, en m/s
- $r$         radio de giro, en m

Para calcular la aceleración angular se utiliza (54) debido a que todos los elementos parten del reposo:

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad (54)$$

Donde:

$w$  velocidad angular inicial , en rad/s

$\alpha$  aceleración angular, en rad/s<sup>2</sup>

$t$  tiempo, en s

En la Tabla 3.9 se muestra los resultados de la aplicación de (53) y (54) con los parámetros de velocidad y aceleración que se muestran a continuación con los cuales la maquina puede procesar el producto de manera adecuada cumpliendo los requerimientos del cliente :

Velocidad lineal                      0,12 m/s

Tiempo de aceleración            0,6 s

En la Tabla 3.7 se visualiza la inercia total de los rodillos y la fuerza de tracción que debe ejercer la lámina de plástico para mover los rodillos.

Tabla 3.8 Resultados de velocidades y aceleraciones

Inercias rodillos		Eje	Rollo	
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	7850	910	
Diametro ext	mm	30	300	
Diametro int	mm	20	150	
Longitud	mm	700	520	
Volumen	m <sup>3</sup>	0,00027	0,02755	
Masa	kg	2,16	25,07	<b>Inercia Total</b>
Inercia	m <sup>4</sup>	<b>0,63</b>	<b>7,33</b>	<b>10,6000</b>
Velocidad lineal	m/s	0,12		
Radio	m	0,57		

<b>W</b>	<b>rad/seg</b>	0,21
<b>Alfa</b>	<b>rad/s<sup>2</sup></b>	2,10
<b>T</b>	<b>Nm</b>	22,31

A continuación se procede a determinar el peso del carro móvil, Figura 3.38 que permite halar la funda, tensarla y alimentarla para formar una nueva funda.



Figura 3.38 Modelo 3D. Módulo de sellado horizontal y carro móvil alimentador

Tabla 3.9 Pesos del carro móvil

<b>COMPONENTE</b>	<b>PESO (kg)</b>
2 Ángulos 50x4	2,5
2 Cilindros 2MA25x100	1,2
2 Mordazas de aluminio	4,2
2 Ejes guía	2,4
2 rieles guía	0,8
2 cajas rodamiento vertical	1,8
4 Rodamientos lineal	0,8
<b>TOTAL</b>	<b>13,7</b>

Para mover el peso determinado en la Tabla 3.9 se hace uso de un cilindro neumático que se selecciona a continuación.

Éste carro móvil se desplaza en sentido vertical, por lo que, por su propio peso genera una carga de 134 N mediante (55), y esta será la carga que el cilindro debe halar para subir el carro móvil.

En la bajada del carro móvil debe vencer la tensión de la lámina que se determinó anteriormente en la Tabla 3.8, pero tomando en cuenta que el peso del carro móvil colabora con el movimiento, este factor no es determinante en el cálculo.

$$Carga_{c\ movil} = W_{cm} \times 9,81 \quad (55)$$

Donde:

$W_{cm}$  peso carro móvil, en kg

$Carga_{c\ movil}$  carga del carro móvil, en N

$$Carga_{c\ movil} = 13,7 \times 9,81$$

$$Carga_{c\ movil} = 134,4 \text{ N}$$

Para no sobrecargar al cilindro y alargar su vida útil se ha considerado un factor de seguridad de 2, por lo que la carga de diseño viene dada por (56).

$$Carga_{diseño} = Carga_{c\ movil} \times F_d$$

Donde:

$Carga_{diseño}$  carga de diseño, en N

$Carga_{c\ movil}$  carga del carro móvil, en N

$F_d$  factor de diseño

$$Carga_{diseño} = 134,4 \times F_s$$

$$Carga_{diseño} = 269 \text{ N}$$

Mediante la Tabla 3.10 obtenida del catálogo del proveedor [27] se verifica que el cilindro adecuado es el 32/12 trabajando con presión de 0,6 MPa, ya que lo que se requiere asegurar es la carga de diseño para un cilindro de doble efecto en "Pull Side" que es la carrera de retorno, tomando en cuenta que la información de la tabla se encuentra en newton N.

Tabla 3.10 Presión nominal y fuerza de cilindro por tamaño

Bore size (mm)	Rod size (mm)	Acting	Type	Pressure area (mm <sup>2</sup> )	Operative pressure (MPa)						
					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
12	6	Single acting	Push side	113.1	-	6.1	17.4	28.7	40.0	51.4	62.7
			Pull side	84.8	-	0.5	8.9	17.4	25.9	34.4	42.9
		Double acting	Push side	113.1	11.3	22.6	33.9	45.2	56.6	67.9	79.2
			Pull side	84.8	8.5	17.0	25.4	33.9	42.4	50.9	59.4
16	8	Single acting	Push side	201.1	-	18.1	38.2	58.3	78.4	98.5	118.6
			Pull side	150.8	-	8.1	23.1	38.2	53.3	68.4	83.5
		Double acting	Push side	201.1	20.1	40.2	60.3	80.4	100.5	120.6	140.7
			Pull side	150.8	15.1	30.2	45.2	60.3	75.4	90.5	105.6
20	10	Single acting	Push side	314.2	-	33.1	64.5	96.0	127.4	158.8	190.2
			Pull side	235.6	-	17.4	41.0	64.5	88.1	111.7	135.2
		Double acting	Push side	314.2	31.4	62.8	94.2	125.7	157.1	188.5	219.9
			Pull side	235.6	23.6	47.1	70.7	94.2	117.8	141.4	164.9
25	10	Single acting	Push side	490.9	13.8	62.9	112.0	161.0	210.1	259.2	308.3
			Pull side	412.3	5.9	47.2	88.4	129.6	170.9	212.1	253.3
		Double acting	Push side	490.9	49.1	98.2	147.3	196.3	245.4	294.5	343.6
			Pull side	412.3	41.2	82.5	123.7	164.9	206.2	247.4	288.6
32	12	Single acting	Push side	804.2	30.8	111.2	191.7	272.1	352.5	432.9	513.4
			Pull side	691.2	19.5	88.6	157.7	226.9	296.0	365.1	434.2
		Double acting	Push side	804.2	80.4	160.8	241.3	321.7	402.1	482.5	563.0
			Pull side	691.2	69.1	138.2	270.3	276.5	345.6	414.7	483.8

Se determina que el cilindro requerido es el SI-32X12-25-S-LB de acuerdo a la codificación del fabricante XCPC [28], y con éste cilindro se garantiza el correcto y continuo funcionamiento del cilindro, inclusive alarga la vida útil de la máquina ya que no va a sufrir sobrecarga y deterioro por este motivo, para referencia se puede verificar el cilindro en la Figura 3.39.



Figura 3.39 Cilindro 32x12 marca XCPC [28]

A continuación se procede a seleccionar los cilindros de sellado vertical y horizontal para garantizar un sellado adecuado del plástico conociendo que para sellar la lámina plástica debe ejercerse una presión de sellado “PS” de  $0,69 \text{ N/cm}^2$  [29], por lo que considerando que para el sellado vertical la mordaza va a tener un área de presión de  $80 \text{ cm}^2$  y para el sellado horizontal las mordazas tienen un área de contacto de  $140 \text{ cm}^2$ .

Mediante (57) se procede a calcular la fuerza requerida por el cilindro vertical y horizontal para un sellado adecuado respecto al área de cada mordaza.

$$F_{\text{sellado}} = PS \times \text{Area de contacto} \quad (57)$$

Reemplazando la información en (57) se obtiene la información siguiente:

$$F_{\text{sellado horizontal}} = PS \times \text{Area de contacto horizontal}$$

$$F_{\text{sellado horizontal}} = 0,69 \times 140$$

$$F_{\text{sellado horizontal}} = 97 \text{ N}$$

$$F_{\text{sellado vertical}} = PS \times \text{Area de contacto Vertical}$$

$$F_{\text{sellado vertical}} = 0,69 \times 80$$

$$F_{\text{sellado vertical}} = 55 \text{ N}$$

Considerando un FS=2 se obtiene que los cilindros deben tener fuerzas de aplicación de 194 N para el cilindro horizontal y 110 N para el vertical, por lo que verificamos en la Tabla 3.10 de presiones y fuerzas de los cilindros, tomando en cuenta que la presión nominal a la cual se trabaja los sistemas neumáticos es de 0,6 MPa.

Tabla 3.11 Presión nominal y fuerza de cilindro por tamaño

Bore size (mm)	Rod size (mm)	Acting	Type	Pressure area (mm <sup>2</sup> )	Operative pressure (MPa)						
					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
12	6	Single acting	Push side	113.1	-	6.1	17.4	28.7	40.0	51.4	62.7
			Pull side	84.8	-	0.5	8.9	17.4	25.9	34.4	42.9
		Double acting	Push side	113.1	11.3	22.6	33.9	45.2	56.6	67.9	79.2
			Pull side	84.8	8.5	17.0	25.4	33.9	42.4	50.9	59.4
16	8	Single acting	Push side	201.1	-	18.1	38.2	58.3	78.4	98.5	118.6
			Pull side	150.8	-	8.1	23.1	38.2	53.3	68.4	83.5
		Double acting	Push side	201.1	20.1	40.2	60.3	80.4	100.5	120.6	140.7
			Pull side	150.8	15.1	30.2	45.2	60.3	75.4	90.5	105.6
20	10	Single acting	Push side	314.2	-	33.1	64.5	96.0	127.4	158.8	190.2
			Pull side	235.6	-	17.4	41.0	64.5	88.1	111.7	135.2
		Double acting	Push side	314.2	31.4	62.8	94.2	125.7	157.1	188.5	219.9
			Pull side	235.6	23.6	47.1	70.7	94.2	117.8	141.4	164.9
25	10	Single acting	Push side	490.9	13.8	62.9	112.0	161.0	210.1	259.2	308.3
			Pull side	412.3	5.9	47.2	88.4	129.6	170.9	212.1	253.3
		Double acting	Push side	490.9	49.1	98.2	147.3	196.3	245.4	294.5	343.6
			Pull side	412.3	41.2	82.5	123.7	164.9	206.2	247.4	288.6
32	12	Single acting	Push side	804.2	30.8	111.2	191.7	272.1	352.5	432.9	513.4
			Pull side	691.2	19.5	88.6	157.7	226.9	296.0	365.1	434.2
		Double acting	Push side	804.2	80.4	160.8	241.3	321.7	402.1	482.5	563.0
			Pull side	691.2	69.1	138.2	270.3	356.5	441.7	528.8	

Se selecciona el cilindro 16/8 para el sellado vertical y el 25/10 para el sellado horizontal, tomando en cuenta que los actuadores se ubican en posición inicial cerrada, por lo que la fuerza de aplicación es "Push side".

El cilindro de sellado vertical es un actuador de doble cilindro que facilita el montaje y alarga la vida útil del mismo y sin incrementar costos de manera excesiva, éste actuador tiene el siguiente código TN-16x50-S.

El Cilindro para el sellado horizontal es de serie MA y su código es MA-□-25X100-0-S-LB, éste cilindro se coloca en cada mordaza y funciona con la misma electroválvula.

El cilindro de corte no ejerce mayor fuerza debido a que la funda se encuentra tensionada y la cuchilla la atraviesa fácilmente.

El cilindro de corte es de codificación siguiente MA-□-25X25-0-S-LB.

### 3.6.1.2 CIRCUITO ELECTRO NEUMÁTICO

A continuación se presenta el circuito electro neumático figura 3.40 que se controla mediante las salidas físicas del PLC y maneja solenoides de voltaje de 110 VAC

El circuito neumático cuenta con un reservorio de aire temporal propio para garantizar el abastecimiento de aire en volumen y presión y funciona activando D5 para el sellado vertical y una vez terminada esa función se activa el D4 que es el cilindro del carro móvil y el cilindro de corte a la vez cuando el sistema de agrupamiento envía la señal de fin de agrupamiento esta activa D3 para el sellado de mordazas horizontales y después del tiempo de sellado superior se desactiva el carro móvil jalando la funda y permitiendo espacio al siguiente ciclo de sellado se realiza el corte y finalmente abre las mordazas horizontales dejando la funda libre y llena de producto

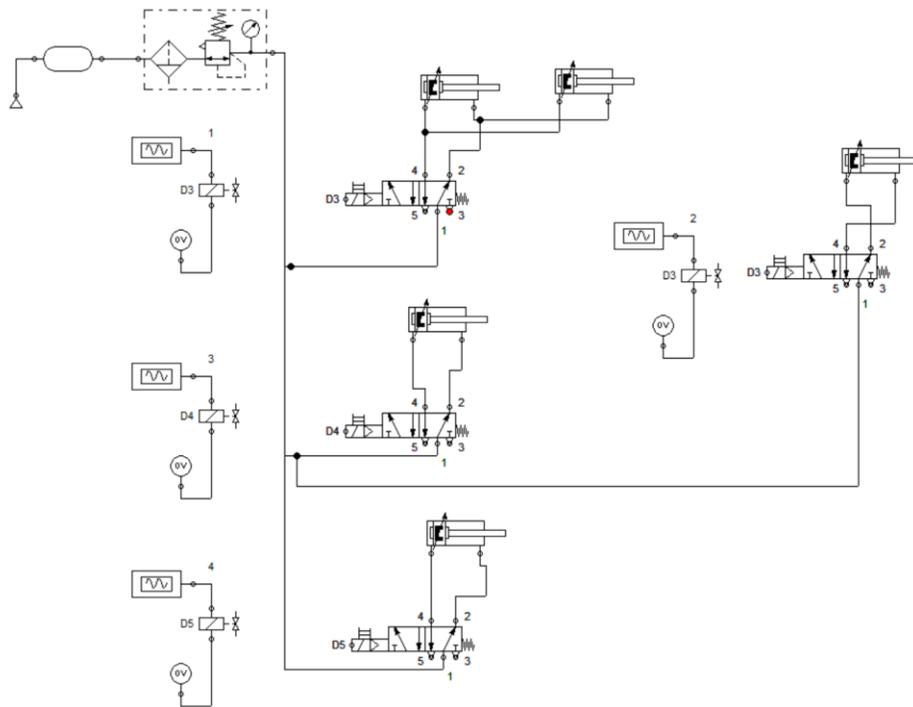


Figura 3.40 Diagrama conexión electro neumático

### 3.6.1.3 ESTRUCTURA POSTES CARRO VERTICAL

En la sección 3.2.1.1 se verifica el peso total que tiene el carro móvil y éste debe deslizarse sobre un eje vertical que le faculta subir para sujetar la funda y bajar arrastrando el plástico y así formar una nueva funda. Para el dimensionamiento de éstos ejes se utiliza el análisis a flexión de éste elemento, conociendo que el eje se sujeta mediante unión empernada por la parte superior e inferior lo mismo que se calcula en la sección 3.5.1.5

Peso carro móvil = 13,7 kg

Fuerza de carro móvil  $F_{cm} = 134 \text{ N}$

En la Figura 3.40 se verifica el diagrama de fuerzas que ejercen sobre los ejes y se conoce que todas las piezas son simétricas, por lo que la carga se distribuye uniformemente en cada eje.

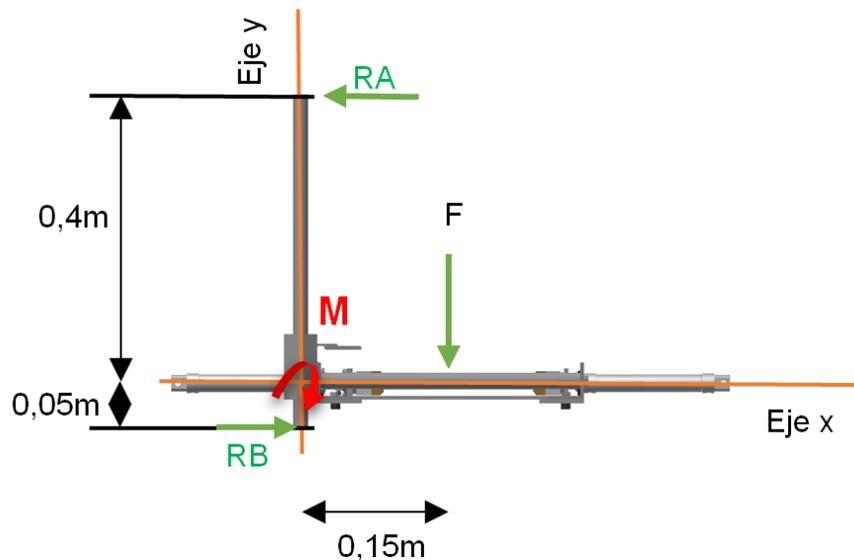


Figura 3.41 Diagrama de fuerzas sobre ejes verticales

Conociendo que la  $F_{cm}$  es 134 y se divide para los dos soportes, la resultante para el cálculo del momento mediante (58) es 67N.

$$M = F \times d \quad (58)$$

$$M = 67\text{N} \times 0,015\text{m}$$

$$M = 10,05 \text{ Nm}$$

Despejando (58) se obtiene la ecuación para calcular RA y RB

$$F = \frac{M}{d}$$

$$R_B = \frac{10,05 \text{ Nm}}{0,05 \text{ m}} = 201 \text{ N}$$

$$R_A = \frac{10,05 \text{ Nm}}{0,4 \text{ m}} = 25,13 \text{ N}$$

Se procede al cálculo de la deflexión en el eje mediante apoyos simples y carga de momento explicada en Figura 3.42 [17]

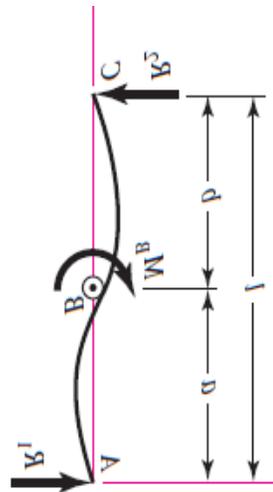


Figura 3.42 diagrama de apoyo simple con carga de momento [17]

Para calcular la deflexión en la sección AB se utiliza (59) obtenida de [17]

$$x_{AB} = \frac{M \times x}{6EI} \times (x^2 + 3a^2 - 6al + 2l^2) \quad (59)$$

Para calcular la deflexión en la sección BC se utiliza la ecuación (60) obtenida de [17]

$$x_{BC} = \frac{M}{6EI} \times [x^3 - 3lx^2 + x(2l^2 + 3a^2) - 3a^2l] \quad (60)$$

Tomando en cuenta que el módulo de elasticidad del acero  $E=200\text{GPa}$  y los ejes tienen 450mm de longitud y 20mm de diámetro, se procede con el análisis inercial utilizando (13).

$$I = \frac{1}{2} \times m \times R_1^2 \quad (13)$$

Donde:

$I$	Inercia cilindro macizo, en $\text{m}^4$
$m$	masa, en kg
$R_1$	Radio, en m

Conociendo la densidad media del acero  $=7850 \text{ kg/ m}^3$  obtenemos la masa del eje mediante la aplicación de (61)

$$m = \rho \times \pi \times r^2 \times l \quad (61)$$

Donde:

$m$	masa, en kg
$r$	radio, en m
$\rho$	densidad del acero 7850, en $\text{kg/m}^3$
$l$	longitud del eje, en m

$$m = 7850 \times \pi \times 0,01^2 \times 0,45$$

$$m = 1,1 \text{ kg}$$

Reemplazando (61) en (13) se obtiene

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2} \times m \times R_1^2$$

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2} \times 1,1 \times 0,01^2$$

$$I_{cilindro} = 5,5 \times 10^{-5} \text{m}^4$$

Los resultados de reemplazar la información correspondiente en (59) y (60) es

$$x_{AB} = 3,21 \times 10^{-9} \text{m}$$

$$x_{BC} = 3,38 \times 10^{-8} \text{m}$$

La deflexión  $x_{AB}$  y  $x_{BC}$  son aceptables para el diseño, por lo que se continúa con el diseño del ducto de alimentación de producto, sobre el cual también se realiza el sellado vertical de la funda y unión de los traslapes de funda, para generar un tubo de plástico que posteriormente se sella en la parte inferior y se rellena de producto y así finalmente sellar la parte superior y alimentar la siguiente funda.

Para definir el ducto de alimentación y el formador se debe tener claro la forma y tamaño del empaque.

#### 3.6.1.4 ANÁLISIS DEL EMPAQUE

El cliente especifica que el tamaño de la funda plástica debe ser de 24x30cm, como se muestra en la Figura 3.43, con un espesor de hasta 0,5 mm

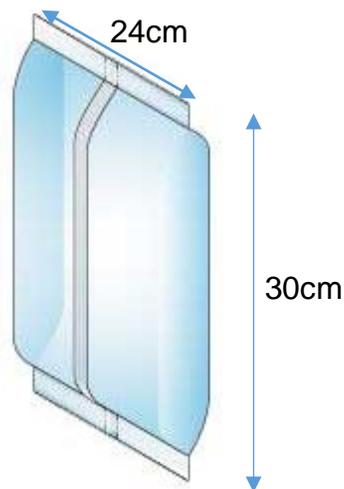


Figura 3.43 Forma y tamaño de bolsa

Partiendo de éstas medidas, se realiza el despliegue del plástico termosellable laminado, como se verifica en la Figura 3.44, en el cual se define el traslape y la funda propiamente.

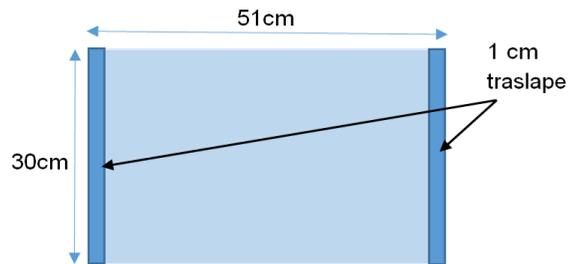


Figura 3.44 Despliegue y distribución de la lámina termosellable

Se define que el tamaño de la lámina es de 51 cm para que permita obtener un traslape de 1 cm como se muestra en la Figura 3.45.

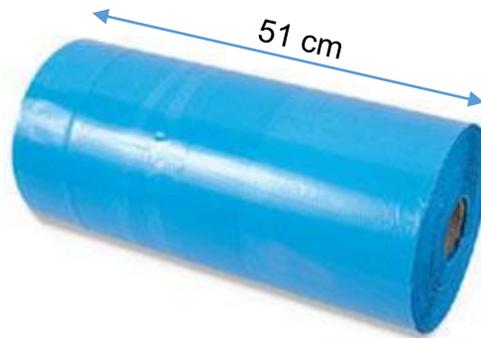


Figura 3.45 Rollo de plástico termosellable laminar de 25 kg

### 3.6.1.5 DUCTO DE ALIMENTACIÓN

El ducto se selecciona o construye respetando la geometría para que el perímetro guie la lámina de plástico y la mantenga traslapada, conociendo que el requerimiento es 510 mm, menos los 20mm de traslape, se debe buscar un tubo de perímetro 490. El tubo más cercano a ésta medida es el tubo comercial de 152,4mm (6 inch) que tiene perímetro exterior de 48cm por lo que se tiene 1 cm para distribuirse como holgura para evitar atascamientos.

El ducto se suelda por la parte superior a la estructura de sujeción y se analiza el conjunto para verificar el esfuerzo que soporta, se muestra en la Figura 3.46 y se verifica que es aceptable.

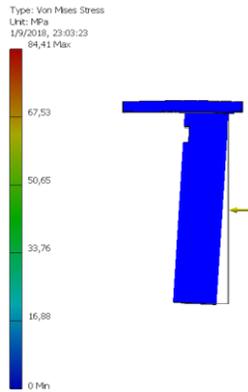


Figura 3.46 Simulación de esfuerzos en ducto de alimentación

A continuación se verifica en la Figura 3.47, el desplazamiento generado por la presión del pistón sobre el ducto y se puede confirmar en la barra de colores que el desplazamiento es menor de una décima de milímetro, lo que es aceptable para el diseño como parte general de maquinaria

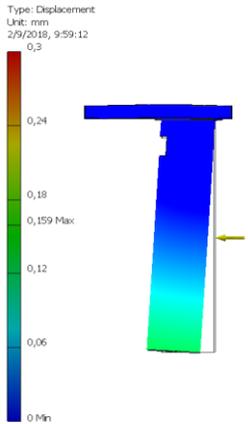


Figura 3.47 Deflexión del ducto por la aplicación del cilindro de sellado

A continuación en la Figura 3.48 se visualiza el diagrama de colores respectivo al factor de seguridad del ducto de alimentación y se comprueba que el diseño resiste, ya que su factor de seguridad es mayor de 12

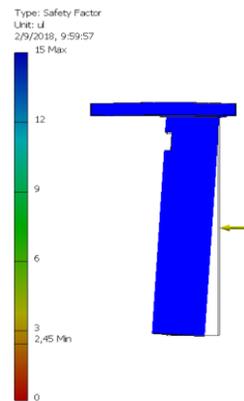


Figura 3.48 Diagrama de colores representativo al factor de seguridad

### 3.6.1.6 FORMADOR DE FUNDA

El formado de la funda se produce mediante un kit formador compuesto del ducto de alimentación, cono formador, Figura 3.49; y sujetadores respectivos que se seleccionan y fabrican a medida de acuerdo a la forma y tamaño de la funda.

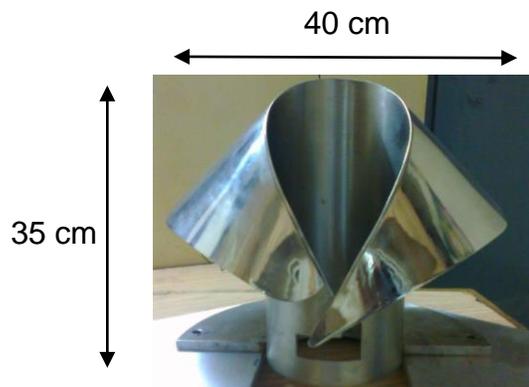


Figura 3.49 Cono formador de funda para máquina FFS

Los conos formadores se fabrican a medida para las diversas aplicaciones, y hay empresas que realizan ese trabajo que requiere de gran precisión y recursos para su fabricación.

### 3.6.1.7 UNIONES EMPERNADAS

El diseño cuenta con varias uniones empernadas, y en esta sección se analizan las secciones más críticas para verificar que la selección de los pernos es adecuada y va a resistir ese trabajo

Se considera como candidato idóneo el perno M8 cabeza hexagonal en sus diferentes longitudes para la aplicación, y se procederá a verificar su resistencia a las cargas que produce el sistema

#### 3.6.1.7.1 PERNOS DE SUJECIÓN DUCTO DE ALIMENTACIÓN

El sistema se sujeta con 4 pernos en la parte superior, Figura 3.49 y por la aplicación del cilindro de sellado sobre el ducto se genera una fuerza cortante máximo  $V_{max}$  en cada perno como se muestra en la Figura 3.50.



Figura 3.50 Pernos de sujeción de ducto de alimentación



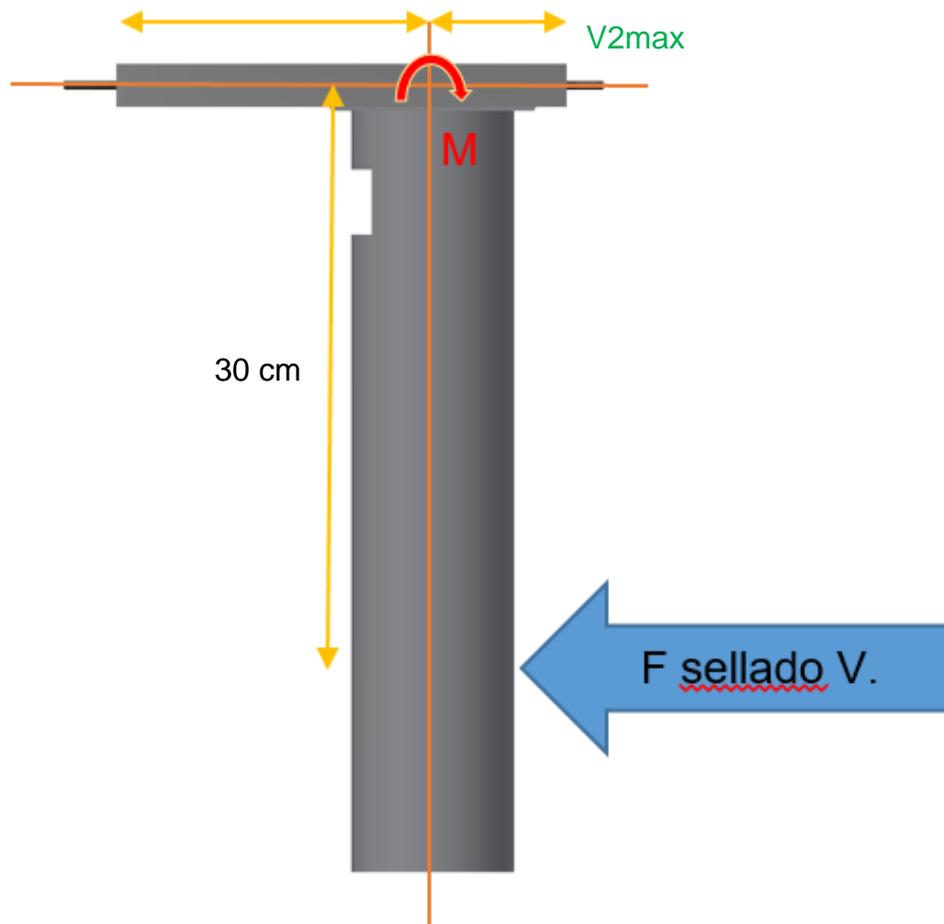


Figura 3.51 Diagrama de fuerzas ducto de alimentación y cortantes en pernos

$$V1 \text{ máx} = 120 \text{ N/perno}$$

$$V2 \text{ máx} = 240 \text{ N/perno}$$

Para verificar la resistencia máxima del perno se utiliza (62) obtenida de [30] y se compara con la fuerza cortante máximo en cada perno y si, la cortante del perno es menor que la resistencia máxima, esto quiere decir que el perno es apto para ésta aplicación, tomando como referencia el perno seleccionado es un perno de 8mm cabeza hexagonal medio en carbono templado y revenido como muestra la Figura 3.52 con una resistencia ultima de  $800\text{N/mm}^2$



Figura 3.52 Perno cabeza hexagonal templado y revenido

$$F_{VRD} = n \times 0,5 \times F_{UB} \times \frac{A}{\gamma_{m2}} \quad (62)$$

Donde:

$F_{VRD}$  resistencia a cortante de un tornillo, en N

$n$  planos de cortantes, en unidades

$F_{UB}$  resistencia ultima del acero del tornillo =800, en N/mm<sup>2</sup>

$A$  área de la sección, en mm<sup>2</sup>

$\gamma_{m2}$  coeficiente de minoración de acero estructural para uniones 1,25, adimensional

$$F_{VRD} = 1 \times 0,5 \times 800 \times \frac{50,3}{1,25}$$

$$F_{VRD} = 16085 \text{ N}$$

Las cortantes  $V1_{\text{máx}}$  y  $V2_{\text{máx}}$  son inferiores a la resistencia a cortantes del tornillo M8x15 por lo que estos pernos son adecuados para la aplicación.

### 3.6.1.7.2 PERNOS DE SUJECIÓN POSTES VERTICALES

El carro móvil debe deslizarse sobre dos postes verticales que generan cortantes en los pernos que las sujetan, Figura 3.53, con valores de  $R_A$  y  $R_B$  calculados por (58) en la sección 3.5.1.2 y comparando con la resistencia del perno calculado por (62) en la sección 3.5.1.6.1 y como resultante el perno soporta los esfuerzos cortantes.

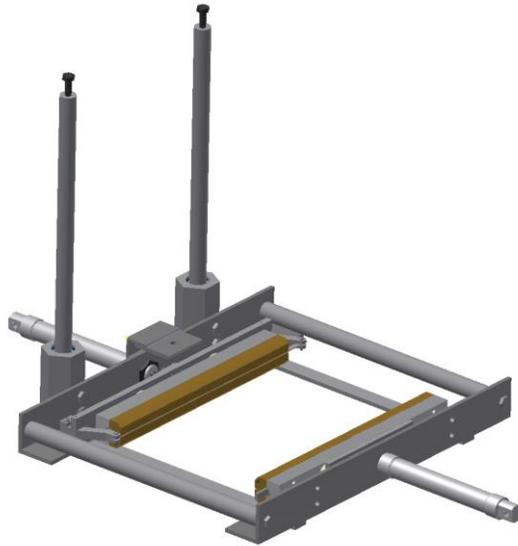


Figura 3.53 Pernos de sujeción de carro móvil

## **3.7 SELECCIÓN DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE LA LINEA DE EMPACADO**

En ésta sección se presentan los componentes que se selecciona en la máquina para su funcionamiento y control, detallando sus características y funciones.

### **3.7.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC**

Se selecciona el PLC siemens CPU1212C AC/DC/RLY de la línea S7-1200 marca siemens, que se muestra en la Figura 3.53 y sus características principales que se verifican en la Tabla 3.11, son las más adecuadas para la aplicación porque se cuenta con 8 entradas y 6 salidas lo que se permite conectar actuadores y sensores para cumplir el requerimiento del cliente, para mayor detalle puede verificar [31].



Figura 3.54 PLC SIEMENS S7-1200 CPU1212C AC/DC/RLY

Tabla 3.12 Características principales PLC

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
SIEMENS S7-1200	CPU 1212C AC/DC/RLY
Dimensiones W x H x D (mm)	90 x 100 x 75
Digitales I/O	8 entradas / 6 salidas
Análogas I/O	2 entradas

El PLC es el dispositivo en el cual se programa las condiciones de funcionamiento de la línea de empaqueo y la interface que se maneja para hacer más amigable el manejo de esta máquina.

### 3.7.2 INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)

Se selecciona la pantalla KTP400 Versión mono Basic panel Figura 3.55, de la marca Siemens que es compatible con el PLC S7-1200, permitiendo así la que el usuario maneje de manera fácil y didáctica la línea de empaqueo.

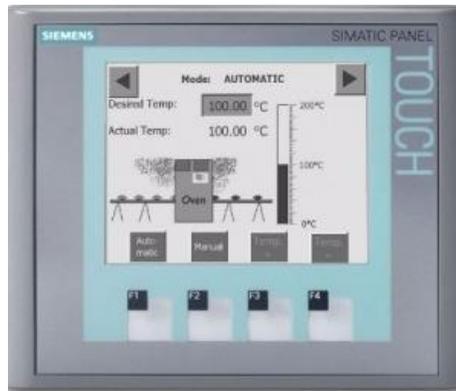


Figura 3.55 Panel HMI KTP400 basic

A continuación se presentan las características principales del panel HMI y para mayor referencia puede verificar [32]

Tabla 3.13 Características Panel KTP400

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
SIMATIC PANEL	KTP400 BASIC
Dimensiones W x H x D (mm)	123 x 90 x 40
Alimentación	24 VDC
Comunicación	PROFINET - Ethernet RJ45

Éste panel se conecta con el PLC y se comunica en tiempo real funcionando como un elemento de entrada y salida de información desde y hacia el PLC, en éste se puede verificar las variables de proceso y la consecución de actividades en pantallas animadas como también recibir mensajes importantes del proceso hacia el usuario.

### 3.7.3 SELECCIÓN SENSOR DETECTOR DE METALES PARA RECORRIDOS DEL PROCESO

El sensor inductivo se ubica en varias partes del sistema en las que se requiere determinar el estado de los actuadores que componen la máquina en cada módulo, se ha determinado el uso del sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX que se muestra en la Figura 3.56 y del cual las características se verifican en la Tabla 3.14



Figura 3.56 Sensor inductivo

Tabla 3.14 Características Sensor inductivo

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Voltaje de operación	6 – 36V DC
Detección	Metales
Corriente de trabajo	300 mA
Rango de detección	1mm a 10mm
Dimensiones	D18 mm*L70 mm
Salida	NPN
Longitud del cable	1.80

#### 3.7.4 SELECCIÓN SENSOR DETECTOR DE PLÁSTICOS PARA VERIFICAR NIVELES EN LA LÍNEA DE EMPACADO

El sensor capacitivo se utiliza en varias partes del sistema en las que se requiere determinar el estado del producto en cada módulo, se ha determinado el uso del sensor capacitivo LJC 18<sup>a</sup>3-B-Z/BX que se muestra en la Figura 3.57 y del cual las características se verifican en la Tabla 3.15



Figura 3.57 Sensor capacitivo

Tabla 3.15 Características Sensor capacitivo

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Voltaje de operación	6 – 36V DC
Detección	Plástico
Corriente de trabajo	300 mA
Rango de detección	1mm a 10mm
Dimensiones	D18 mm*L70 mm
Salida	NPN
Longitud del cable	1.80

### 3.7.5 SELECCIÓN DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

Los motores y electro válvulas se activan o desactivan de acuerdo a condiciones establecidas en el PLC y para independizar las salidas del PLC se selecciona mini relés, Figura 3.58, que se conectan en bases para su fácil reemplazo en caso de requerirlo y de ésta manera las salidas del PLC activan únicamente la bobina del relé y si algún inconveniente hubiera en el sistema o actuador no se vería comprometida la salida del PLC, las características de éste elemento se encuentran en la Tabla 3.16



Figura 3.58 Mini relé LY2

Tabla 3.16 Características Mini Relé

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Corriente de contacto	10A
Voltaje de bobina	12VDC
Montaje	Insertable
Serie	LY
Resistencia de Bobina	650 Ohm

### 3.7.6 SELECCIÓN ACCIONAMIENTO TERMICO DE MORDAZAS PARA SELLADO

El relé de estado sólido Figura 3.59 permite manejar corrientes mayores desacopladas de nuestro sistema primario de control y en el diseño se utilizan para el control de las resistencias de calentamiento de las mordazas para referencia las especificaciones técnicas se encuentran en la Tabla 3.17



Figura 3.59 SSR-40 FOTEK

Tabla 3.17 Características SSR-40DA

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Modo de control	DC – AC
Corriente de carga	40 A
Tensión de carga	24-380 VAC
Tensión de control	3-32 VCD

### 3.7.7 SELECCIÓN CONTROLADOR DE TEMPERATURA

El controlador de temperatura REX-C100, Figura 3.60, permite configurar una temperatura deseada y el instrumento se encarga de manejar los pulsos de manera adecuada para que las resistencias se enciendan y apaguen de manera que se mantenga la temperatura en un valor estable y las características de este instrumento se verifican en la Tabla 3.18, adicionalmente se selecciona el tipo de sonda que se utiliza con este controlador y para esta aplicación se utiliza una termocupla tipo k que es suficiente para la aplicación.



Figura 3.60 Controlador de temperatura REX-C100

Tabla 3.18 Características Controlador de temperatura REX-C100

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Relay contact output	250 V AC 3A
Voltage pulse output	0/12V DC
Current output	4 to 20 mA DC
Load Voltage	100V AC system 200V AC system
Load	Resistive load
Power supply	100 to 240V AC
Power Consumption	9 VA max (at 240V AC)
Tipo de sensor	Termocupla tipo K

### 3.6.8 FUENTE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA

Las fuentes de alimentación eléctrica Figura 3.61 del sistema son de gran importancia y responden al análisis de carga que se ha realizado y se muestra en la Tabla 3.19 y se ha considerado el uso de fuentes switching por su estabilidad, garantía y accesibilidad.

Tabla 3.19 Análisis de carga de la línea de empaqueo

DETALLE	CORRIENTE DE CONTROL		CORRIENTE POTENCIA
	12 VCD	24VCD	
VOLTAJE	12 VCD	24VCD	12 VCD
M1	80	400	3 A
M2	80	.	3A
M3	80	800	3A
M4	80	400	3A
M5	500	800	1A

Se considera seleccionar 3 fuentes de voltaje comerciales como se detalla a continuación en la Tabla 3.20

Tabla 3.20 Distribución de fuentes de poder

DETALLE	VOLTAJE	POTENCIA
SENSORES Y HMI	24 VDC	240 W
RELES Y ELECTROVALVULAS	12VDC	60W
MOTORES	12VDC	180W



Figura 3.61 Fuente de alimentación eléctrica conmutada

### 3.6.9 DISPOSITIVOS DE VISUALIZACIÓN Y MANDO PARA EL PANEL DE CONTROL

#### 3.6.9.1 LUZ PILOTO

La luz piloto se utiliza para informar al usuario de que la máquina se encuentra encendida o apagada por emergencia la máquina cuenta con una luz verde y una roja de 22mm como se muestra en la figura 3.62 y las características se verifican en la Tabla 3.21.



Figura 3.62 Luz piloto 22mm

Tabla 3.21 Características Controlador Termocupla tipo K

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Voltaje	110/220 VAC
Base de bombilla	LED integrado
Componente	Piloto luminoso completo

#### 3.6.9.2 SELECTOR DE 2 POSICIONES

El interruptor de selección Figura 3.63 se utiliza para el encendido o apagado del sistema como también el encendido y apagado del sistema de control de las resistencias

eléctricas de calentamiento de las mordazas este instrumento puede manejar una corriente máxima de 15 A.



Figura 3.63 Selector de dos posiciones de 22mm

### 3.6.9.3 BOTÓN DE PARO TIPO HONGO

El paro de emergencia Figura 3.64 es un botón de gran importancia que genera que el proceso se detenga en caso de que el operador accione por emergencia este botón y el mismo permanece enclavado hasta que un operador gire la roseta para reponer el sistema.



Figura 3.64 Paro de emergencia tipo hongo 22mm

### 3.6.10 ACCIONAMIENTO ELÉCTRONEUMÁTICO

La electroválvula Figura 3.65 es un elemento electromecánico que permite manejar el fluido de aire mediante una señal electrónica que en este caso proviene de los relés

activados por el PLC, la válvula es de 5 vías 2 posiciones para el accionamiento de cilindros de doble efecto con bobina 12 VDC.



Figura 3.65 Electroválvula 5/2 12vdc

### 3.7 DISEÑO GABINETE DE CONTROL Y HMI

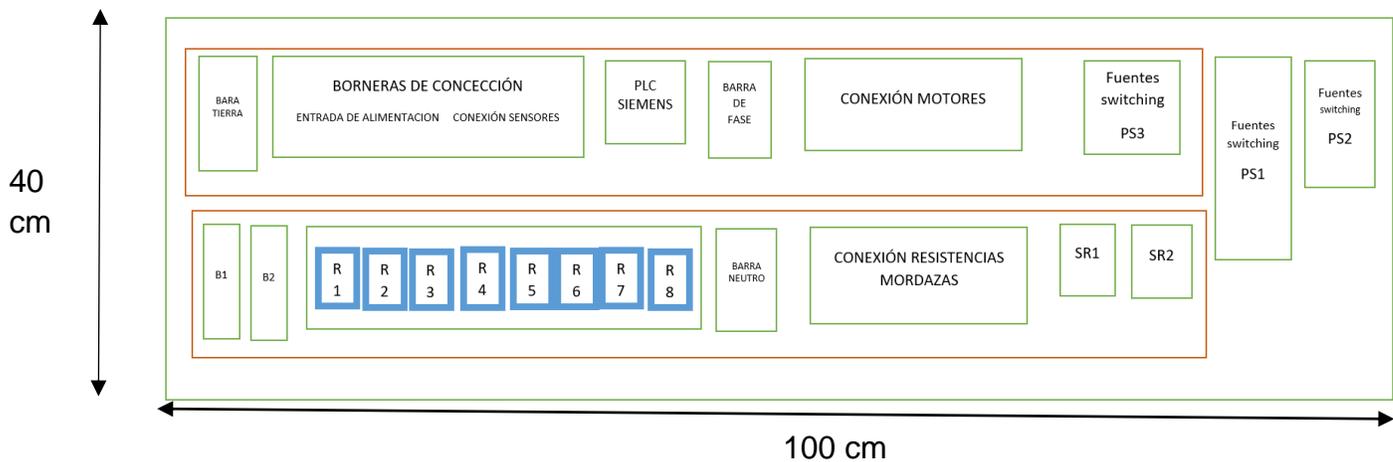
El Diseño del gabinete responde a la cantidad de elementos que se debe controlar o manejar por lo que se detalla a continuación cada elemento y se explica su función en la tabla 3.22 y se relaciona cada elemento con el diagrama de ubicación Anexo A en el tablero Figura 3.66

Tabla 3.22 Listado de componentes del gabinete de la línea de empaclado

ITEM	ELEMENTO	FUNCION	CODIGO
1	FUENTE 12VDC 180W	Alimentación potencia (motores)	PS2
2	FUENTE 12VDC 60W	Alimentación control 2(mini relés)	PS3
3	FUENTE 24VDC 240W	Alimentación control 1(sensores-HMI)	PS1
4	CPU 1212C AC/DC/RLY	Controlador programable	PLC
5	SSR-40DA	Relé de resistencia vertical	SR1
6	SSR-40DA	Relé de resistencia horizontal	SR2
7	BREAKER 20A	Breaker sistema y motores	B1
8	BREAKER 20A	Breaker resistencias calentamiento	B2
9	MINI RELÉ LY2	Accionamiento E.V. carro móvil	R1

10	MINI RELÉ LY2	Accionamiento E.V. S. vertical	R2
11	MINI RELÉ LY2	Accionamiento E.V. S horizontal	R3
12	MINI RELÉ LY2	Accionamiento M1	R4
13	MINI RELÉ LY2	Accionamiento M2	R5
14	MINI RELÉ LY2	Accionamiento M3	R6
15	MINI RELÉ LY2	Accionamiento M4	R7
16	MINI RELÉ LY2	Accionamiento M5	R8

Figura 3.66 Disposición de componentes en el gabinete electrónico



### 3.8 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

El PLC siemens de la serie S7-1200 se puede programar por varios programas pero se ha decidido hacer uso de TIA portal V14.0, en el cual se programa las condiciones que se requieren para que el sistema funcione de manera adecuada. Para mayor comprensión del programa, se muestra en la Figura 3.67 el flujograma de actividades que el PLC controla para el cumplimiento de los objetivos.

Los parámetros de ingreso son T.sellado V, T.sellado, T. Acarreo que son los tiempos de sellado vertical de sellado horizontal y de acarreo de la funda respectivamente por lo que una vez ingresados estos parámetros se debe dar el inicio del sistema para que la lógica siga los pasos del diagrama de flujo.

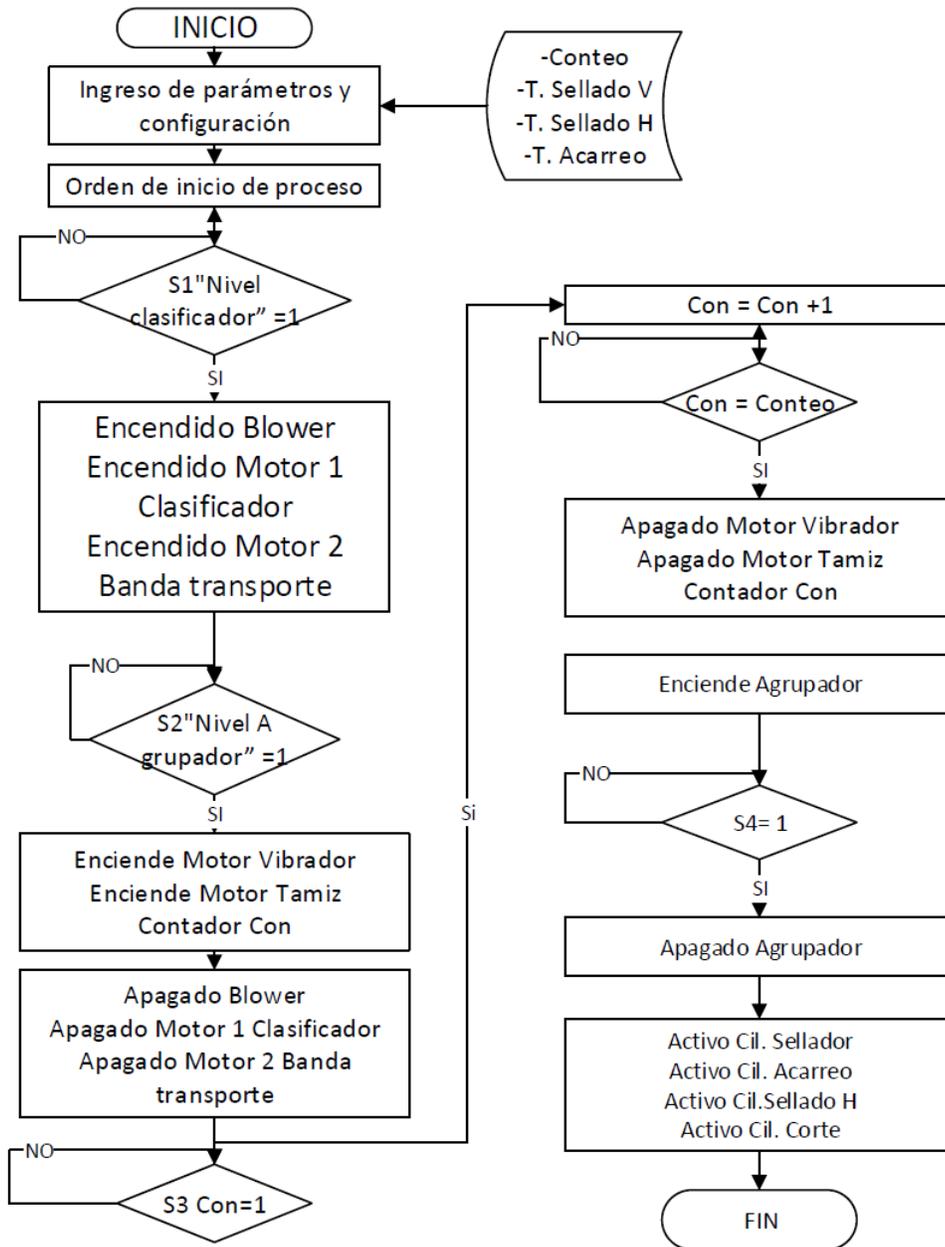


Figura 3.67 Flujograma de programa PLC

### 3.9 SISTEMA DE CORTE

El sistema de corte esta adherido a la mordaza horizontal y funciona mediante una cuchilla que corta cuando un cilindro neumático XCPC MA-16x25 SLB acciona un sistema de palancas como se verifica en la Figura 3.68 permitiendo en un estado que la cuchilla sobresalga de la mordaza y corte y en otro estado retraiga la cuchilla permitiéndole quedar dentro de la mordaza sin realizar función alguna.

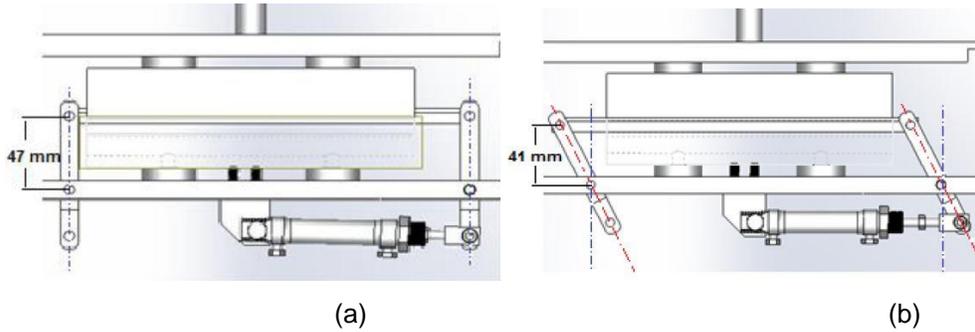


Figura 3.68 Sistema de corte (a) cuchilla cortando (b) cuchilla retraída [33]

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN

La línea de empackado Figura 4.1 se compone de varios módulos que unidos trabajan para cumplir el objetivo de clasificar, agrupar y enfundar una máximo de 500 cápsulas.

La línea de empackado se maneja desde el panel de control Figura 4.2 ubicado en la FFS



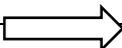
Figura 4.1 Línea de empackado de cápsulas



Figura 4.2 Panel de control general de los módulos

En el proceso constructivo se requiere atención de la Tabla 4.1 en la cual se explica la simbología a utilizar para el proceso constructivo de los diferentes módulos y el ensamble de la línea de empackado.

Tabla 4.1 Simbología de proceso de construcción y ensamble

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	OPERACIÓN	Indica las principales fases del proceso Agrega, modifica, montaje, etc.
	INSPECCIÓN	Verifica la calidad y/o cantidad. En general no agrega valor
		Indica el movimiento de materiales

	TRANSPORTE	Traslado de un lugar a otro
	ESPERA	Indica demora entre dos operaciones o abandono momentáneo
	ALMACENAMIENTO	Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén
	COMBINADA	Indica varias actividades simultáneas

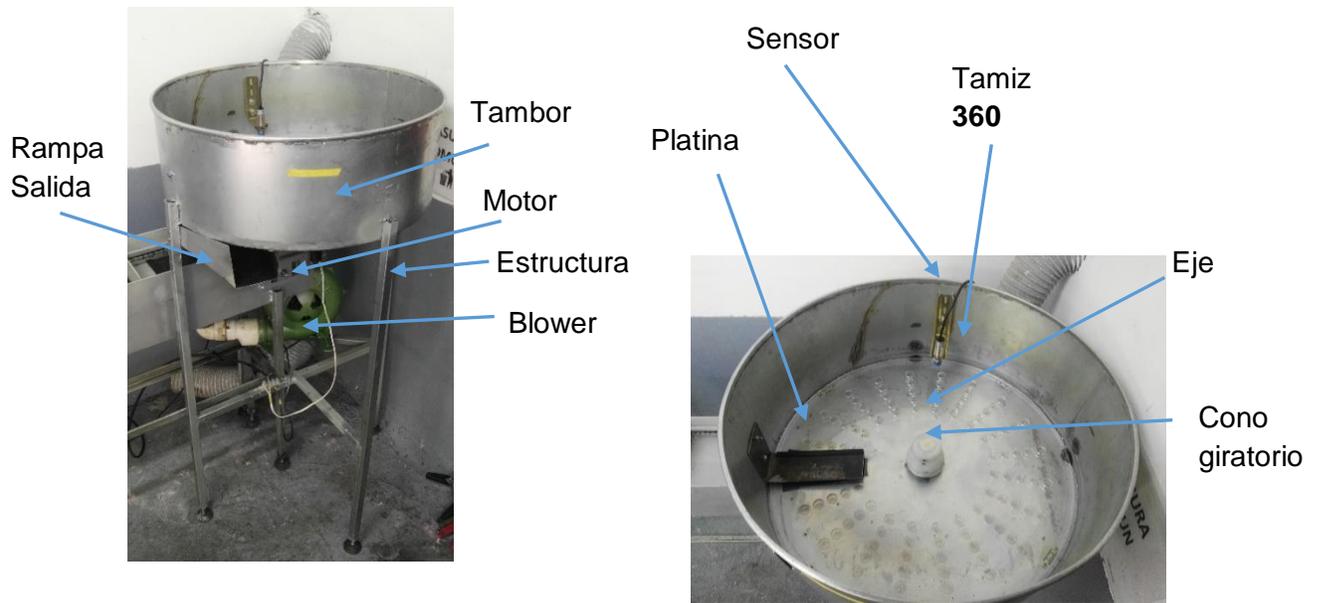
En la Tabla 4.2 se verifican las operaciones que se requiere para el ensamblaje de los diferentes módulos de la línea de producción e incluso para la integración de los módulos en la línea de empaclado tomando en cuenta que todas las piezas y partes han sido previamente fabricadas de acuerdo a los planos especificados en los Anexos.

Tabla 4.2 Funciones de proceso de construcción y ensamble

Numeración	Operación
1	Soldar
2	Cepillado y limado
3	Unión mediante pernos
4	Montaje de motores
5	Montaje sensor capacitor
6	Montaje sensor inductivo
7	Montaje con apriete
8	Montaje con juego
9	Montaje deslizado

#### 4.1.1 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELECTOR DE CÁPSULAS

Este módulo representa el primero módulo de la línea de empaclado y se detallan las partes en la Figura 4.3 A y B para una mayor comprensión del sistema



(a)

(b)

Figura 4.3 Módulo 1 Clasificador de cápsulas a) parte exterior b) parte interna

En la Figura 4.4 se verifican los pasos necesarios para el ensamble de las diversas piezas que componen el selector de cápsulas.

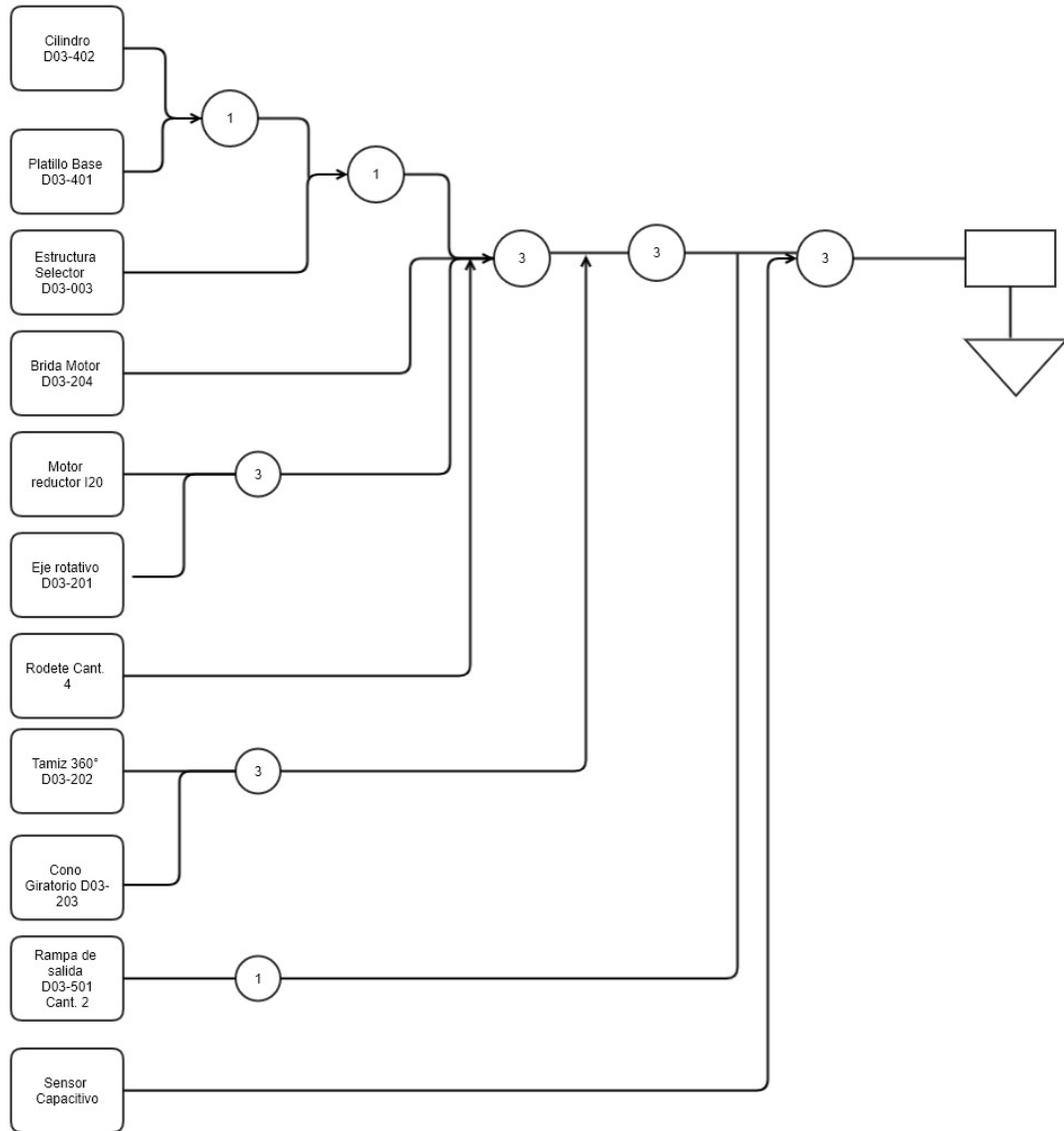


Figura 4.4 Diagrama de funciones para ensamble Módulo 1 Clasificador de cápsulas

#### 4.1.2 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO BANDA ELEVADORA E INSPECCIÓN

Este módulo Figura 4.5 está compuesto de la banda de alimentación en la que se dispone un espacio para la inspección de calidad por un operario y este módulo conecta al módulo 1 y el módulo 3.

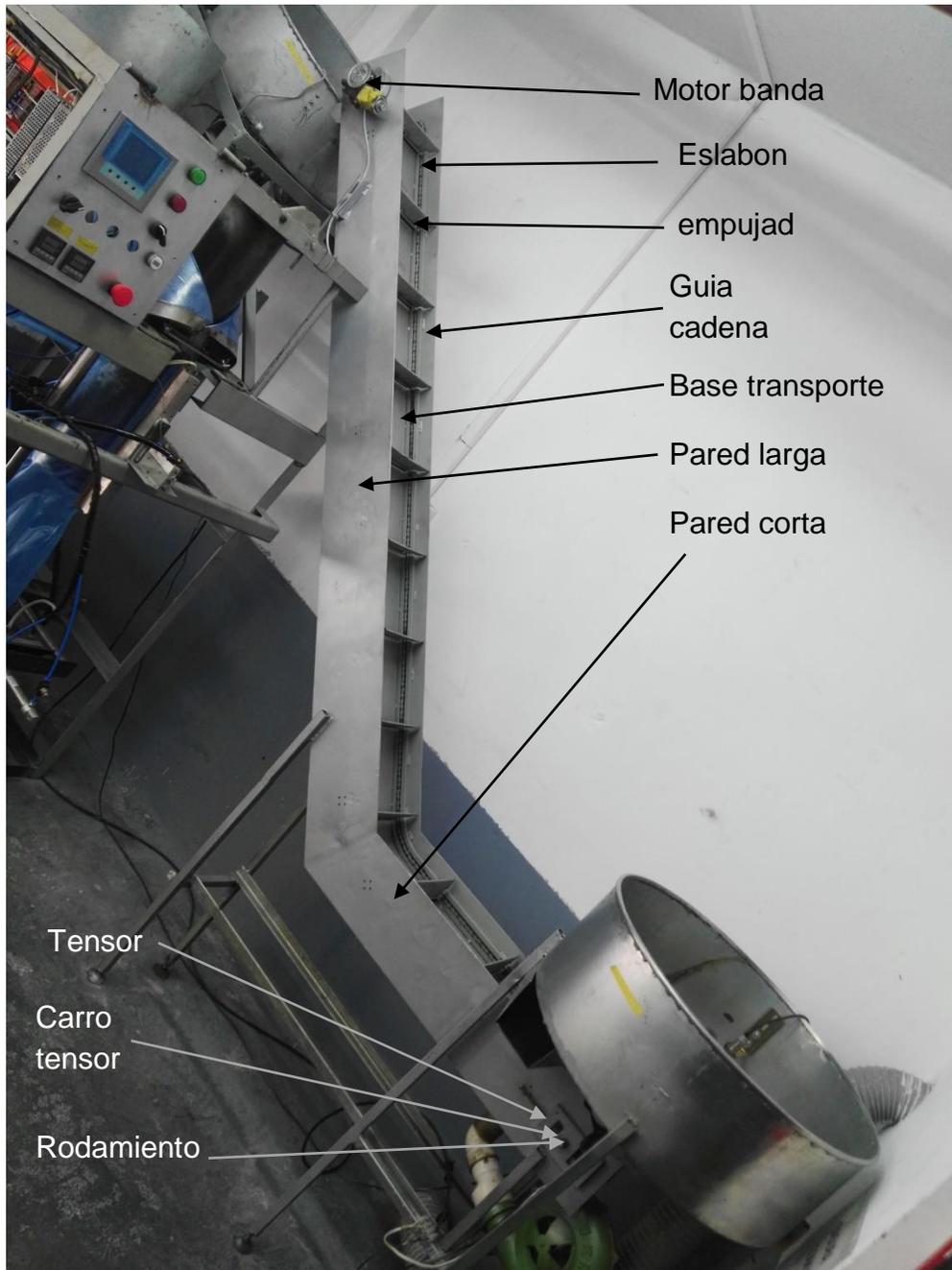


Figura 4.5 Módulo 2 Banda de inspección de calidad y elevador de producto

A continuación en la Figura 4.6 se presenta las funciones que se deben realizar para el ensamblaje de la banda de inspección.

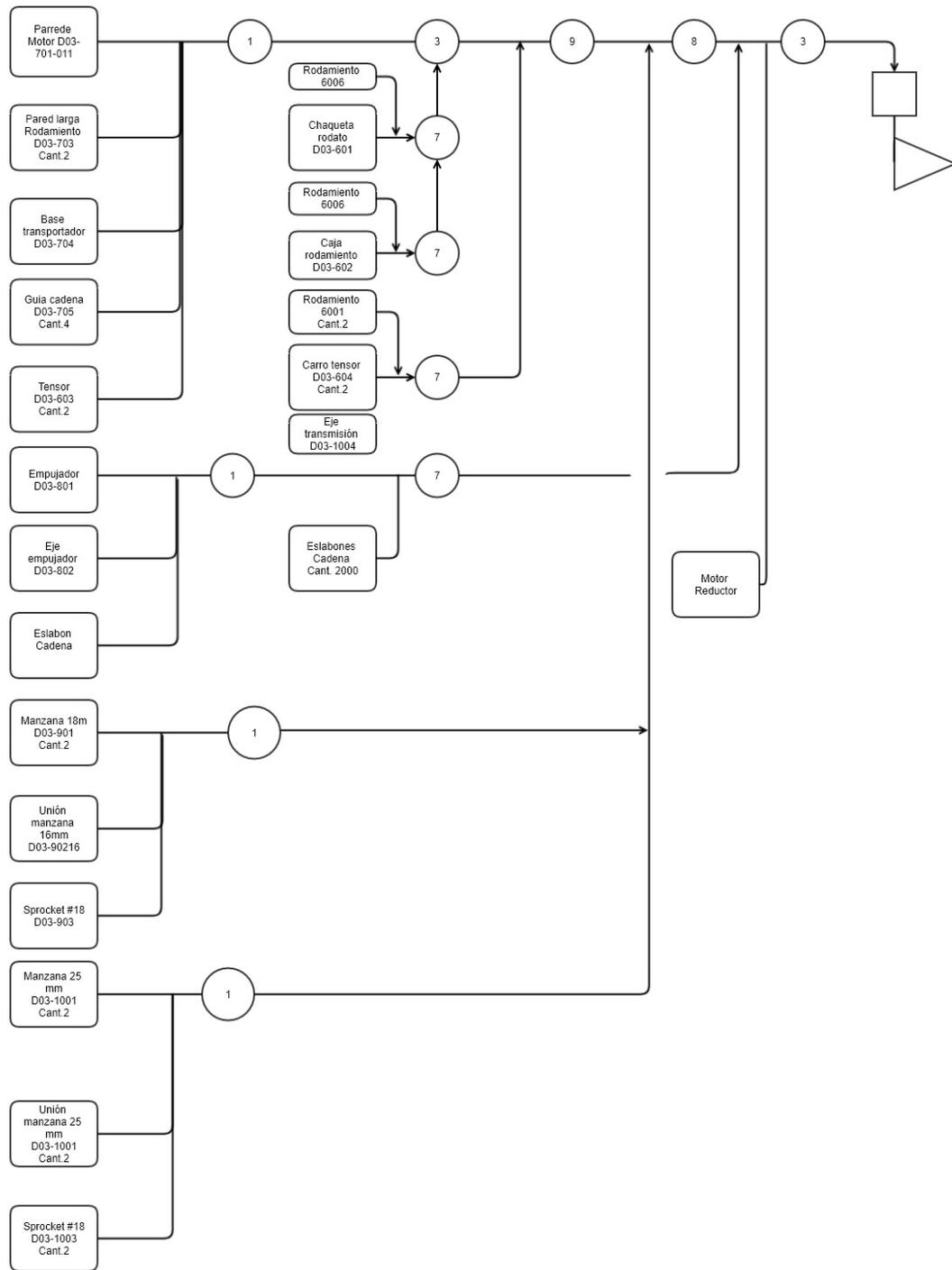


Figura 4.6 Diagrama de funciones para el ensamblaje de la banda de inspección y elevador de producto

### 4.1.3 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO AGRUPADOR

La Figura 4.7 presenta las partes que componen el módulo agrupador.

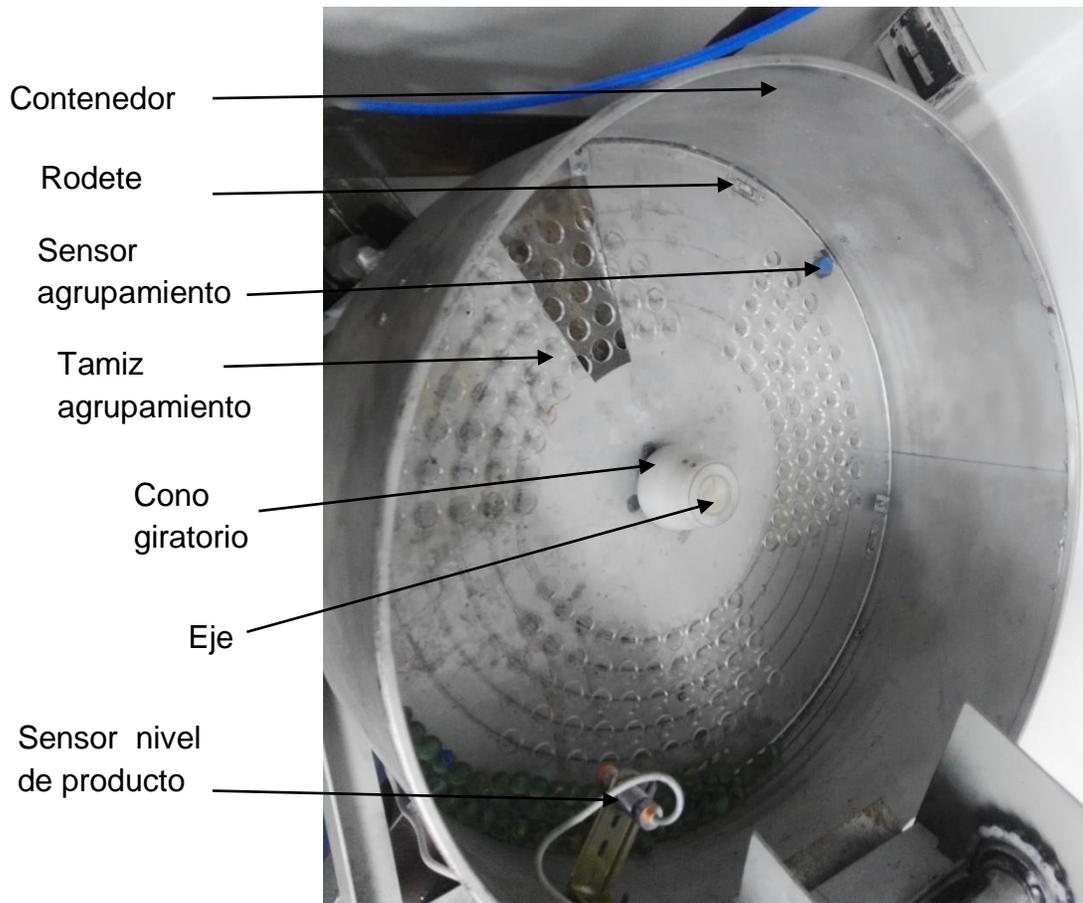


Figura 4.7 Módulo 3 Agrupador de cápsulas

En la Figura 4.8 se presentan las funciones que permiten obtener el módulo 3 que corresponde al agrupador de cápsulas que pasan al alimentador circular.

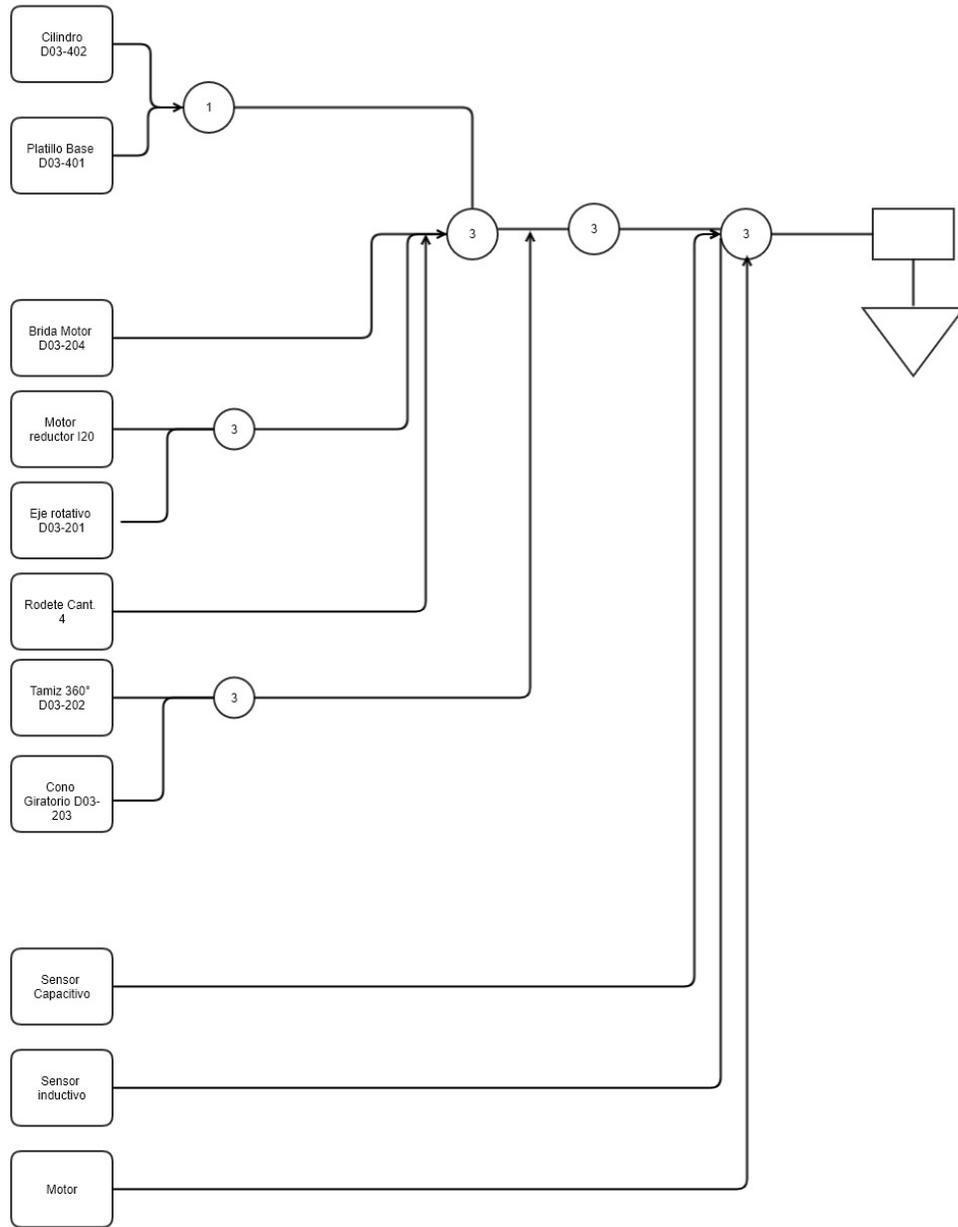


Figura 4.8 Diagrama de funciones Módulo agrupador

#### 4.1.4 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO ALIMENTADOR

El módulo 4 Figura 4.9 es el alimentador circular que cuenta con 6 divisiones y en cada una se agrupan la cantidad solicitada por el cliente y cuando avanza un espacio alimenta producto al módulo 5 y libera espacio para el próximo agrupamiento, a continuación se verifican las partes que componen este módulo.

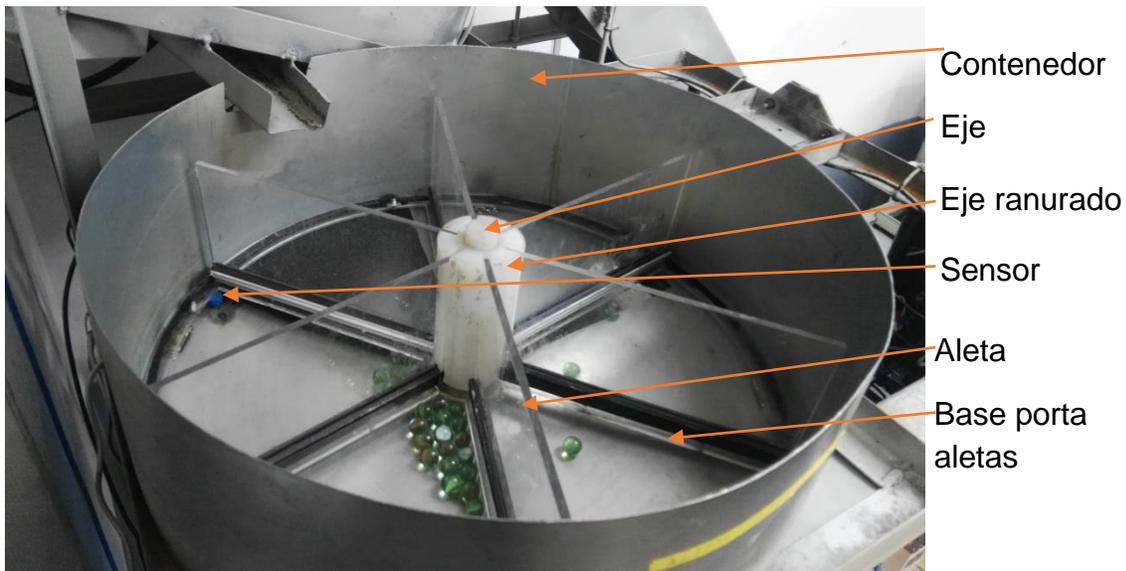


Figura 4.9 Módulo 4 y sus partes

En la Figura 4.10 se verifica las funciones requeridas para el ensamblaje del módulo alimentador.

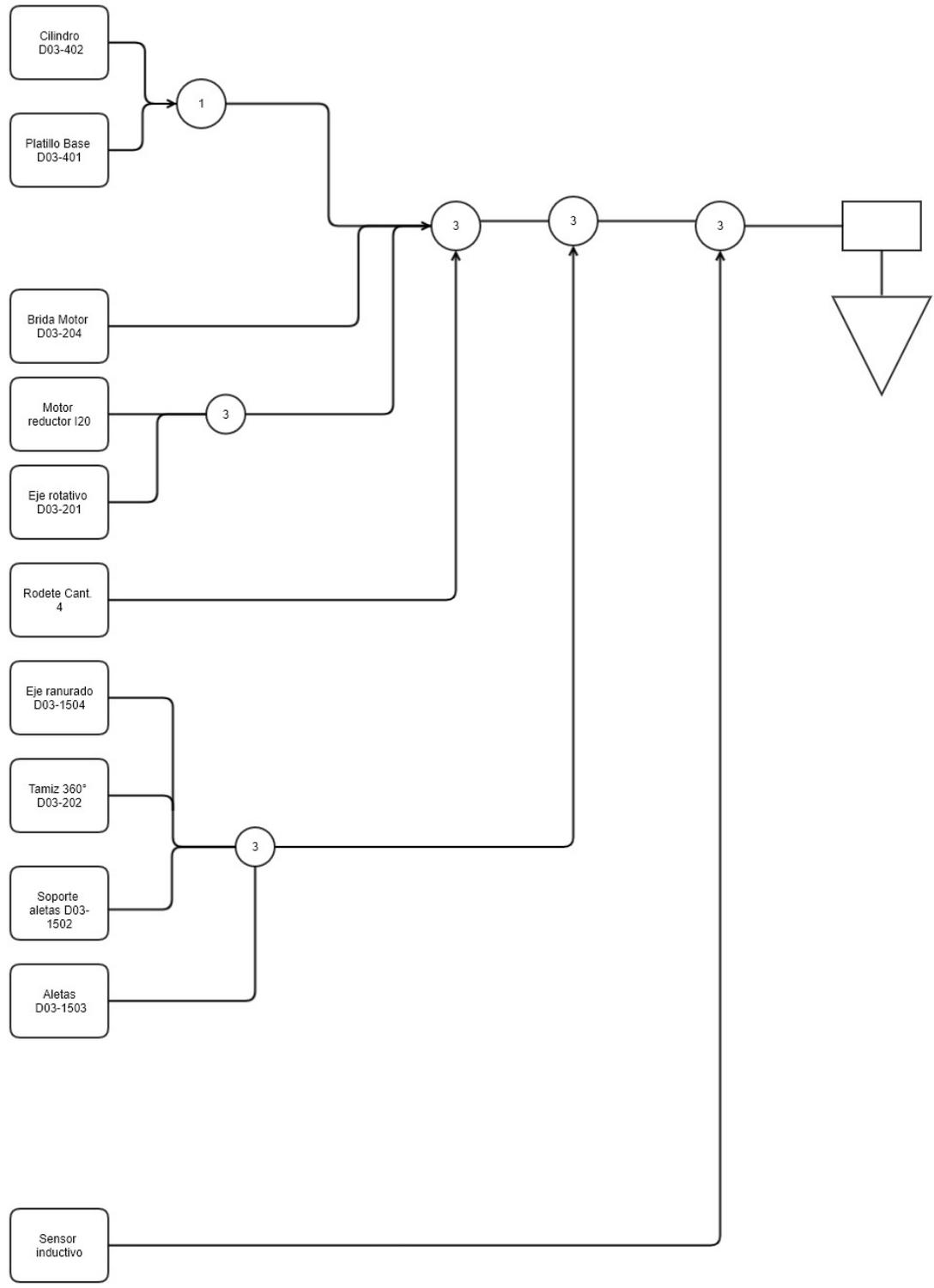


Figura 4.10 Diagrama de funciones Módulo Alimentador

#### 4.1.5 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELLADO VERTICAL

El módulo 5 cuenta con varios mecanismos y por esta razón los principales se realizan en diagramas de funciones separados como el que se presenta en la Figura 4.11 que corresponde al bloque de sellado vertical.

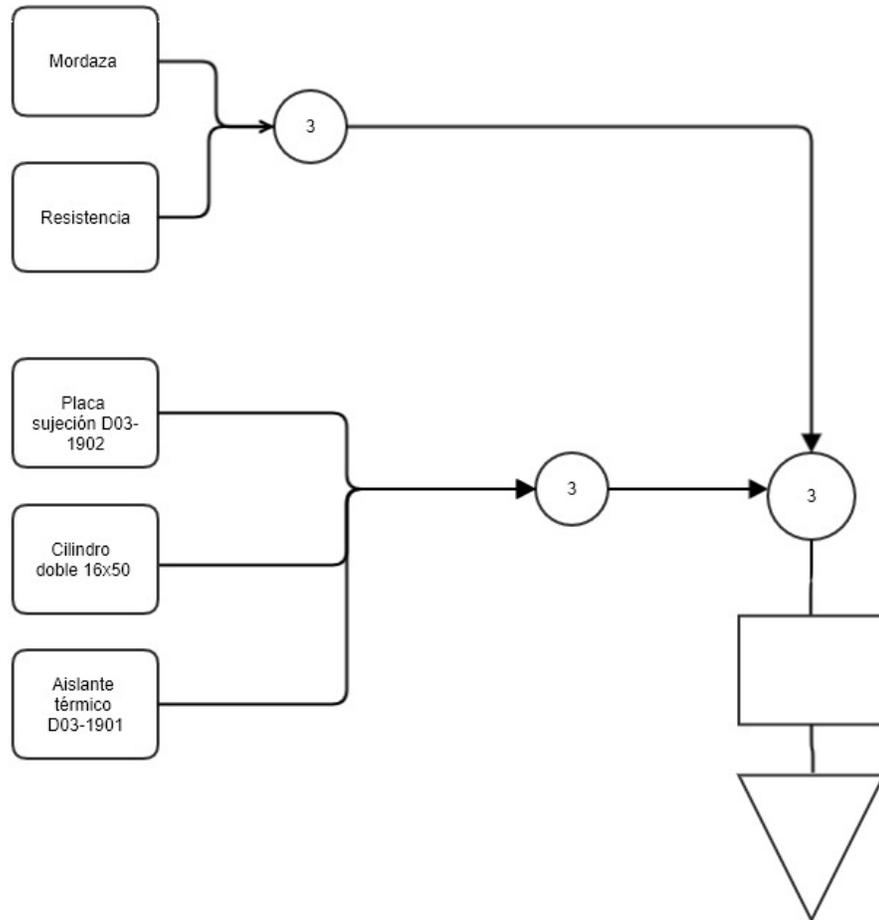


Figura 4.11 Diagrama de funciones Sellado horizontal

### 4.1.6 CONSTRUCCIÓN DE SUBCONJUNTO SELLADO HORIZONTAL

El módulo 5 cuenta con varios mecanismos y por esta razón los principales se realizan en diagramas de funciones separados como el que se presenta en la Figura 4.12 que corresponde al bloque de sellado horizontal.

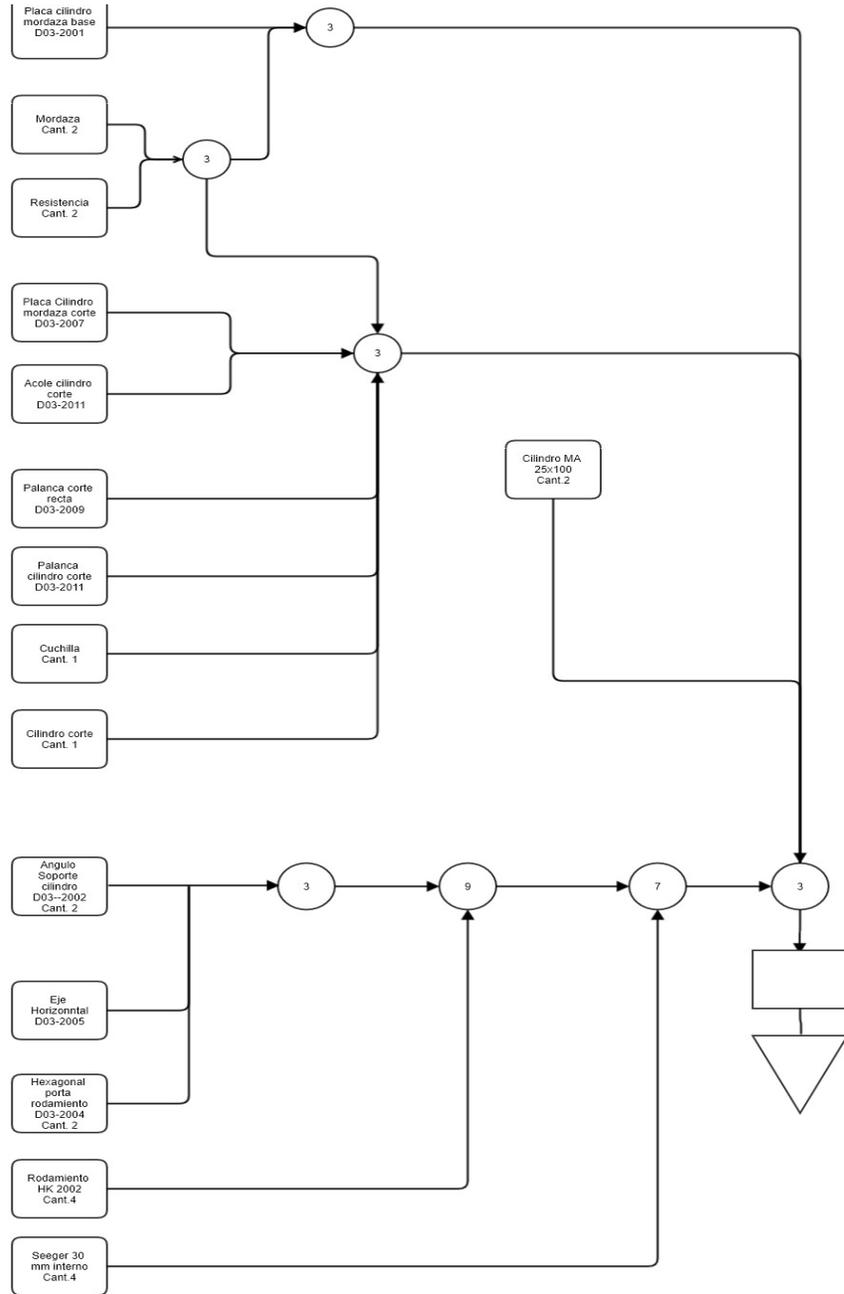


Figura 4.12 Diagrama de funciones Sellado horizontal

#### 4.1.7 ENSAMBLAJE DE MÁQUINA FFS

El módulo 5 es el que forma la funda desde una lámina plástica y sella la parte inferior y vertical para llenar de producto y posteriormente hacer el sellado horizontal y repetir el proceso, en la Figura 4.13 se visualiza las partes principales de la máquina.

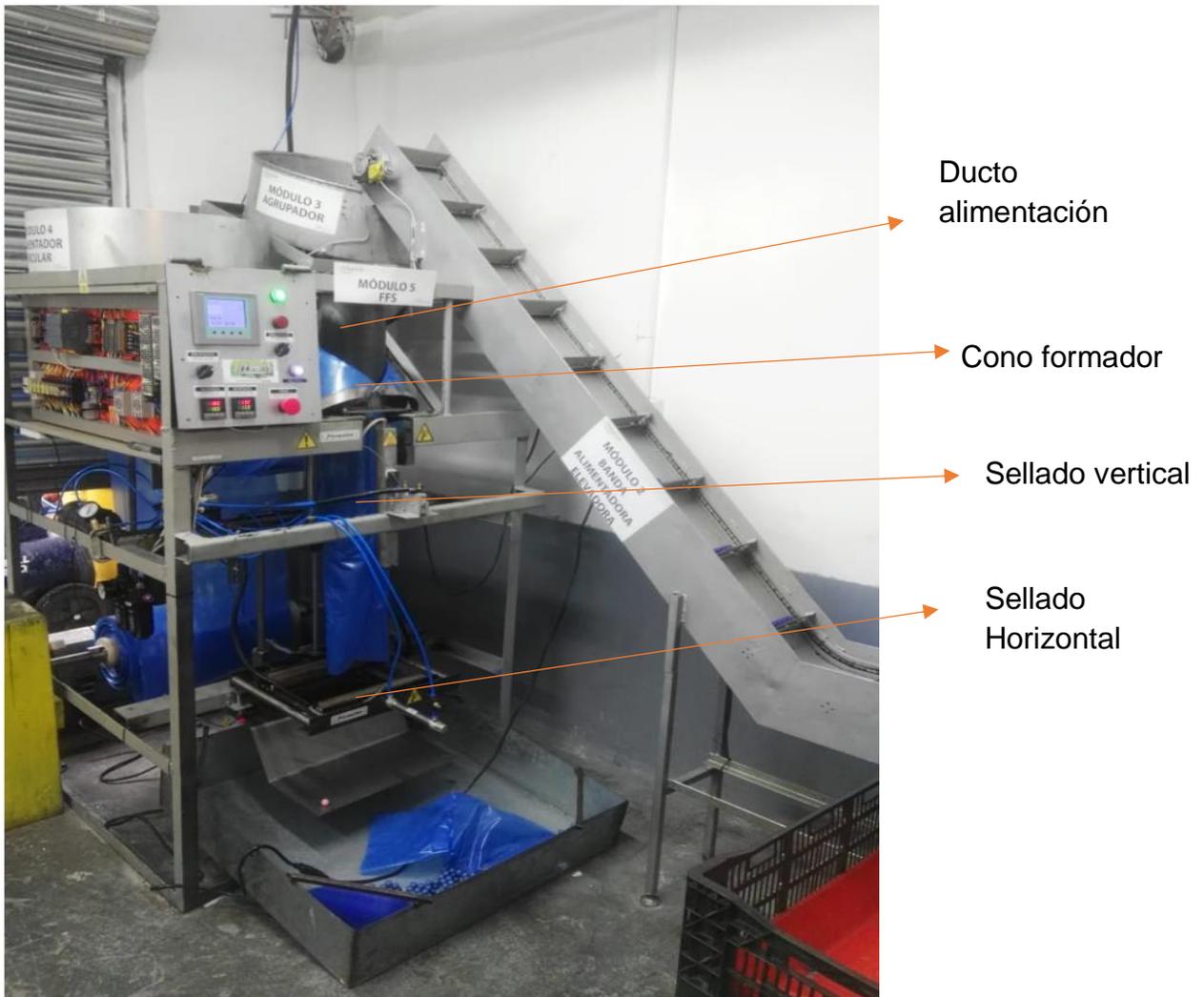


Figura 4.13 Módulo 5 y sus partes principales

A continuación se presenta en la Figura 4.14 el diagrama de funciones para el ensamblaje de la máquina FFS.

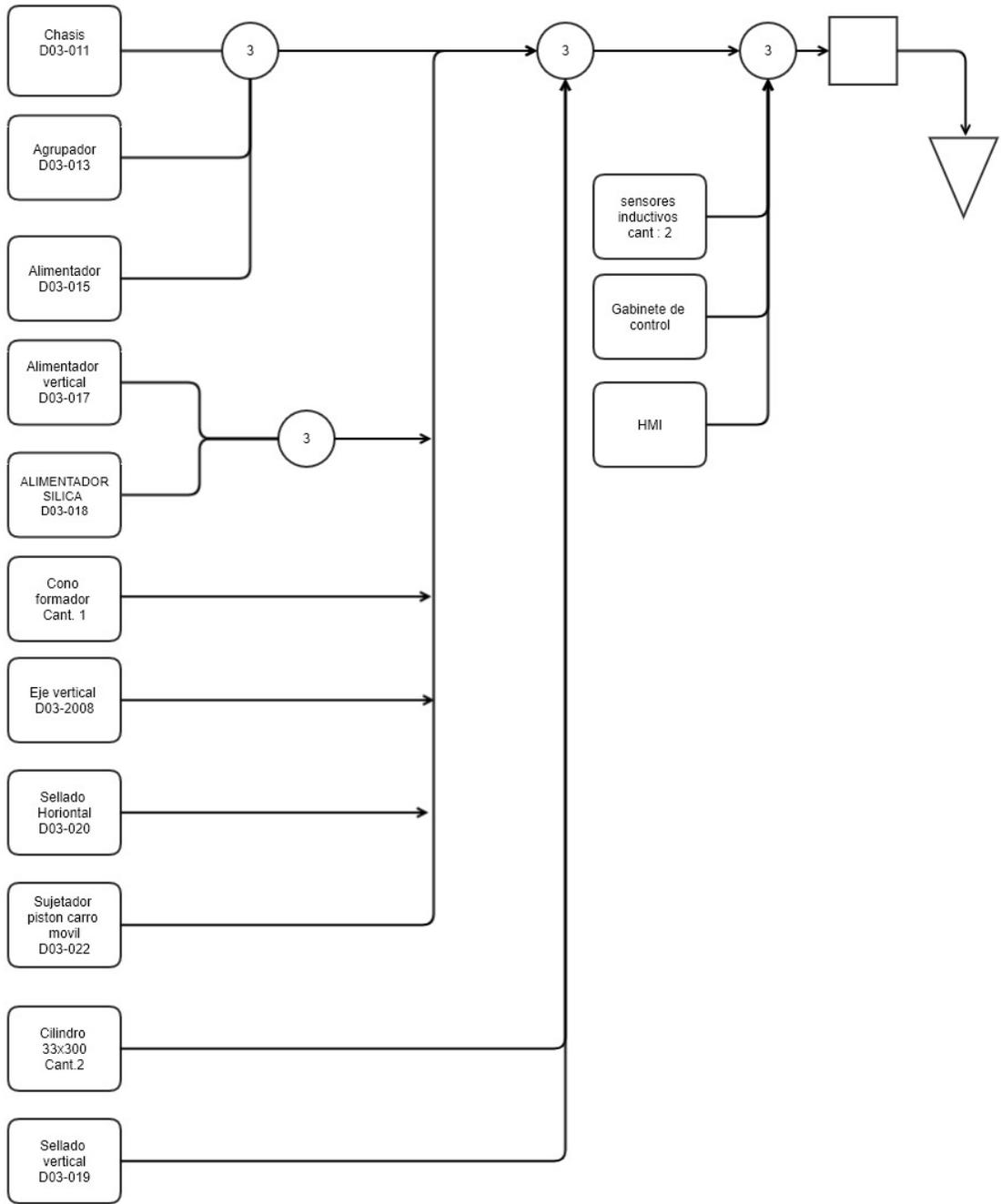


Figura 4.14 Diagrama de funciones para ensamble de la máquina FFS

## 4.2 PRUEBAS ESPECÍFICAS DEL SISTEMA

La Tabla 4.3 muestra el protocolo de pruebas específicas realizadas a la línea de empaçado para confirmar sus funciones y acciones.

Tabla 4.3 Protocolo de pruebas específicas de la línea de empaçado

Número de prueba	Tipo de prueba	Descripción	Acción a realizar	Resultado
1	Paro de emergencia	Se presiona el botón de paro de emergencia	La máquina se desactiva inmediatamente	A
2	Restablecer valores de fábrica	Se presiona el botón "restablecer valores de fábrica" en la pantalla ConfMáquina	Los valores de fábrica almacenados en la memoria de la HMI se asignan a la máquina	A
3	Alimentación aire comprimido	Se abre la llave principal de ingreso de aire	Se verifica que el manómetro mida la presión y no haya fuga de aire en el sistema	A
4	Encendido principal	Se acciona el selector de encendido	El indicador verde se enciende y la HMI se enciende el medidor de voltaje indica la tensión actual	A
5	Conexión HMI PLC	Ingreso en pantalla abastecimiento	Verificar que en el recuadro "salida" se encuentre el número 00 y no ###	A

6	Ingreso de parámetros	Se presiona el botón abastecimiento en el HMI y se ingresa un valor en la ventana número de vueltas	Se verifica que una vez ingresado el valor permanezca cargado en el recuadro de "ingreso"	A
7	Funcionamiento Sensor 1 capacitivo selector	Una vez encendida la máquina acercar un objeto al sensor de la máquina selectora	Verificar el encendido del Led que incorpora el sensor	A
8	Funcionamiento sensor 2 capacitivo Agrupador	Se acerca una superficie al sensor de nivel del agrupador	Se verifica el encendido del Led incorporado en el sensor capacitivo	A
9	Funcionamiento sensor 3 inductivo agrupador	Se acerca un objeto metálico al sensor de conteo de agrupamiento	Se verifica el encendido del LED incorporado en el sensor inductivo	A
10	funcionamiento sensor 4 inductivo alimentador	Se acerca un objeto metálico al sensor inductivo	Se verifica el encendido del LED incorpora el sensor inductivo	A
11	Funcionamiento del sensor 5 inferior carro móvil	Con la máquina encendida se acerca una superficie metálica al sensor inductivo	Se verifica el encendido del LED incorpora el sensor inductivo	A
12	Funcionamiento del sensor 6 inductivo superior	Con la máquina encendida se acerca una superficie metálica al sensor inductivo	Se verifica el encendido del LED incorpora el sensor inductivo	A
13	Funcionamiento de motor selector	Colocar un objeto en el sensor de nivel del lector	Se enciende el motor y gira el tamiz 360°	A

14	Funcionamiento del blower	Se coloca un objeto al nivel del selector	Se enciende el blower	A
15	Funcionamiento motor banda	Se coloca un objeto en el sensor del selector	Se enciende el motor de la banda transportadora	A
16	Funcionamiento del motor agrupador	Una vez ejecutadas las pruebas de la 13 a la 15 colocar un objeto en el sensor de nivel del agrupador	Se enciende el tamiz agrupador	A
17	Funcionamiento motor vibrador agrupador	Una vez ejecutadas las pruebas de la 13 a la 15 colocar un objeto en el sensor de nivel del agrupador	Se enciende el motor de vibración del alimentador	A
18	Funcionamiento del motor alimentador	Una vez realizado el número de conteo del módulo agrupador	Se enciende el motor de alimentación y alimenta un espacio	A
19	Funcionamiento de electroválvula 1	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio"	Se enciende la electroválvula 1	A
20	Funcionamiento de electroválvula 2	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio" 2 veces	Se verifica el encendido del Led que incorpora la electroválvula 2	A
21	Funcionamiento de electroválvula 3	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio" 3 veces	Se verifica el encendido del Led que incorpora la electroválvula 3	A

22	Funcionamiento de cilindro de sellado vertical	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio"	Verificar que la mordaza vertical se accione por el tiempo configurado	A
23	Funcionamiento de cilindro carro móvil	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio" 2 veces	El carro móvil sube	A
24	Funcionamiento de sellado horizontal	Ingresar en pantalla "empaquetado" presionar opción "manual" configurar tiempos, presionar "inicio" 3 veces	Se cierran las mordazas de sellado horizontal por el tiempo configurado en la HMI	A
25	Funcionamiento de cilindro de corte	Cuando el carro móvil se encuentra en el sentido de descenso	Cilindro de corte se activa y saca la cuchilla	A
26	Encendido de control de temperatura	Al accionar el selector de encendido de control de temperatura	se encienden las dos pantallas de los controladores de temperatura	A
27	Sellado vertical	Una vez realizada la función de sellado	Se sella homogéneamente	A
28	Sellado horizontal	Una vez realizada la función de sellado	Se sella homogéneamente la parte superior e inferior de la funda	A
29	Corte	Se realiza el corte de la funda	Funda se corta	A
30	Formado de funda	El sistema acciona el carro móvil para alimentar plástico y formar la funda	Se mantienen alineada la funda proveniente del rollo hacia el cono formador	A
31	Alineamiento	Se alimenta la lámina plástica hacia el formador	Se forma la funda con un traslape adecuado	A
32	Verificación de agrupamiento	Se configura cantidad de cápsulas a enfundar	Se enfunda el número de cápsulas ingresadas en el HMI	A

### 4.3 PRUEBAS DE PROCESO DE PRODUCTO

A continuación se realizan las pruebas individuales de cada módulo obteniendo de esta manera los resultados por separado y al final los resultados en conjunto de la línea de empaclado.

#### 4.3.1 PRUEBAS CONTROLADAS DEL MÓDULO 1 CLASIFICADOR DE CÁPSULAS

Se realizan las pruebas de clasificación de producto utilizando 4 patrones diferentes de entrada Figura 4.15 y verificando salida del producto.

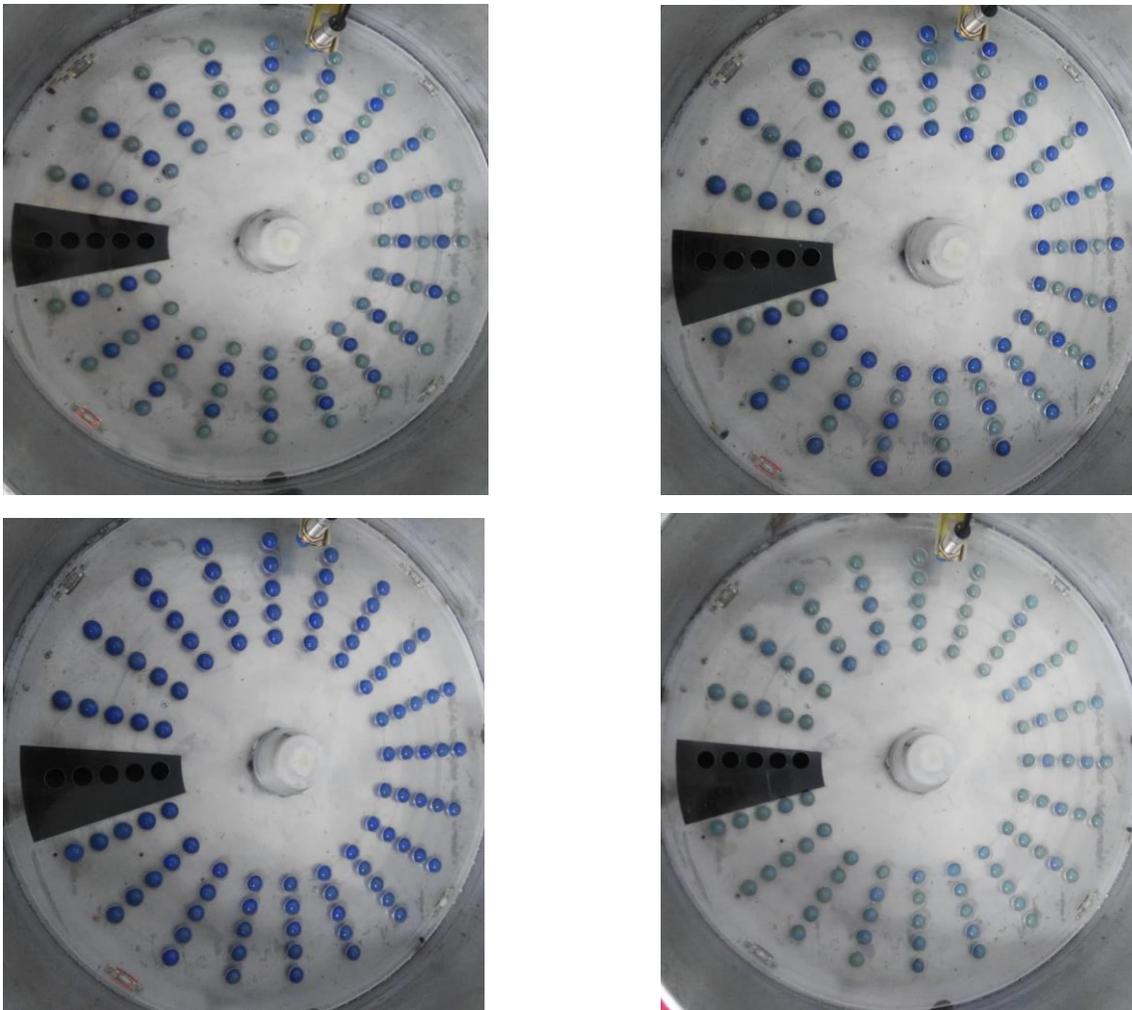


Figura 4.15 Patrones de entrada al clasificador

(a) Patrón 1: 40% llenas (b) Patrón 2: 60% llenas (c) Patrón 3: 100% llenas (d) Patrón 4: 0% llenas

En el anexo D se comprueba los registros de entrada y salida de producto para obtener los resultados de las pruebas respecto al módulo clasificador que se muestran en la Figura 4.16 -4.19 respectivamente con los patrones de la Figura 4.15.

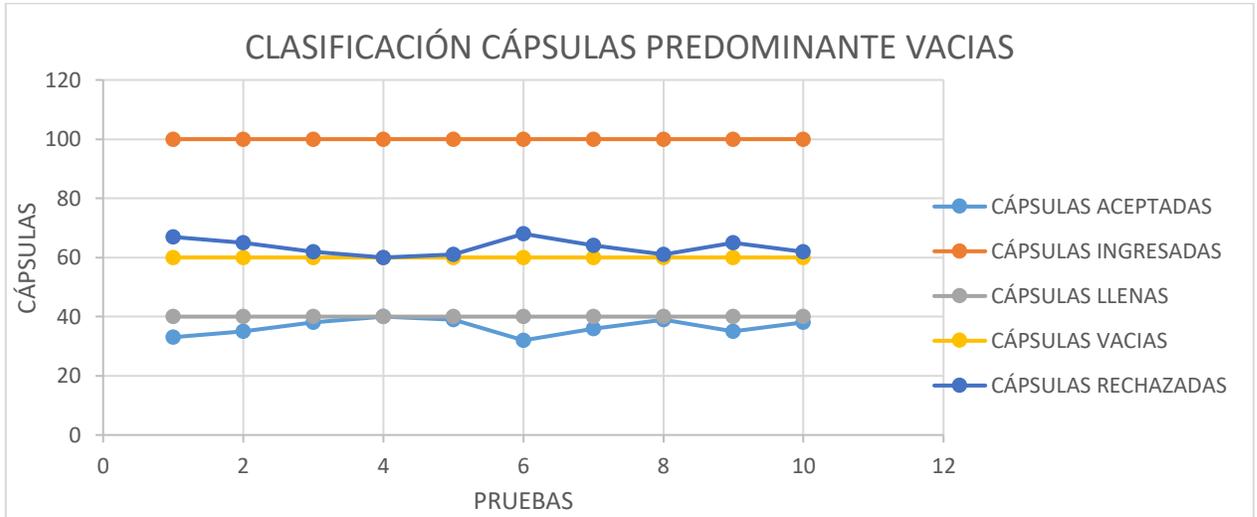


Figura 4.16 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 1

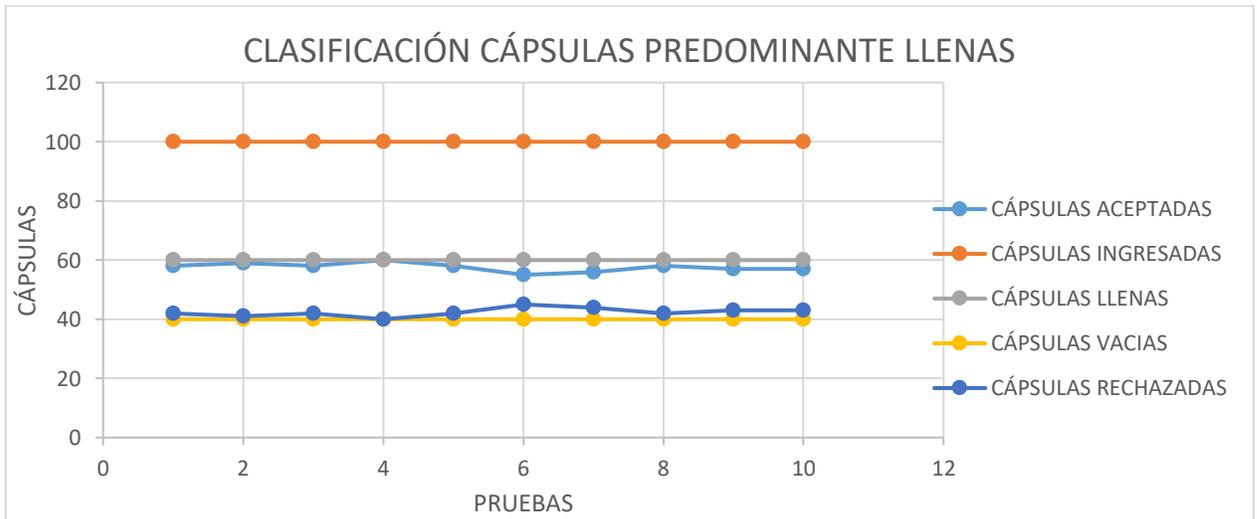


Figura 4.17 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 2

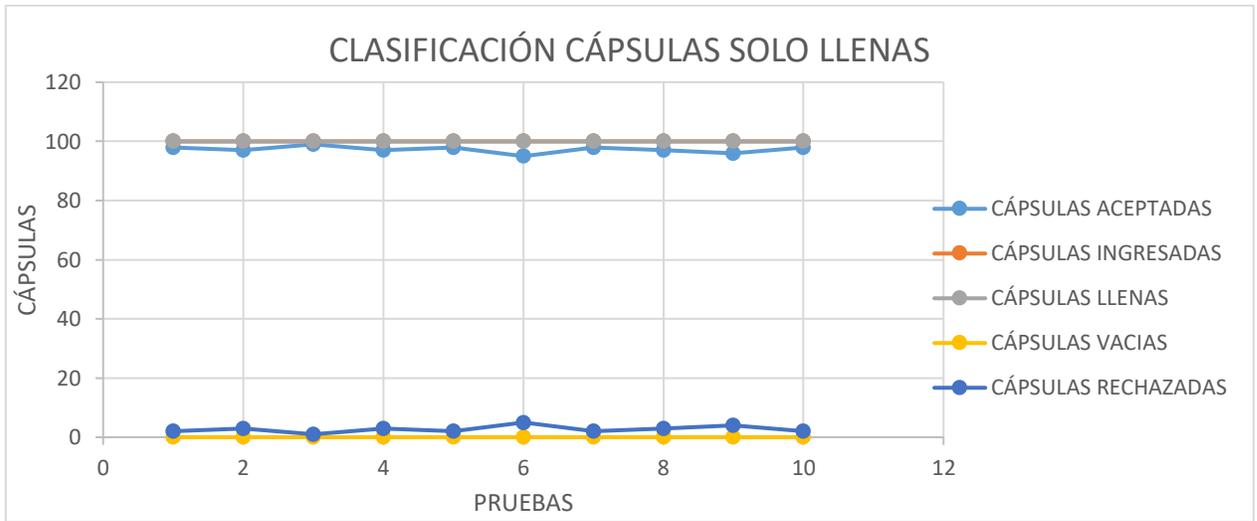


Figura 4.18 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 3

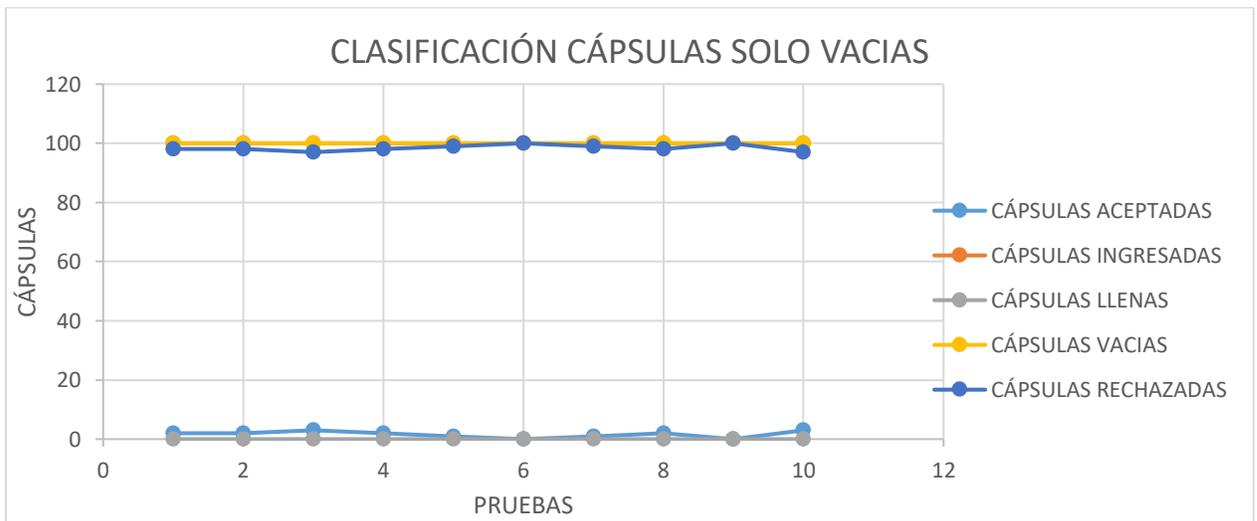


Figura 4.19 Resultados de prueba del clasificador respecto al patrón 4

Se observa que este módulo cuenta con un margen de error en clasificación menor al 4 % lo que se considera como aceptable para el proceso tomando en cuenta que el proceso también cuenta con una etapa de inspección visual.

#### 4.3.2 PRUEBAS DEL MÓDULO 2 BANDA DE INSPECCIÓN Y ELEVADORA

Este módulo tiene la función de alimentar y permitir al operario que realice la separación de productos defectuosos como los mostrados en la figura 4.16



Figura 4.20 cápsulas vacías separadas por el módulo 1 y productos defectuosos separados por el operario

En el anexo E se registran los valores de transporte como los valores de producto retirado en un serie de pruebas controladas en las que se ingresaron canicas como producto defectuoso o capsulas de diferente tamaño incluso se colocaron cápsulas vacías en la banda para verificar que el operador retire el producto

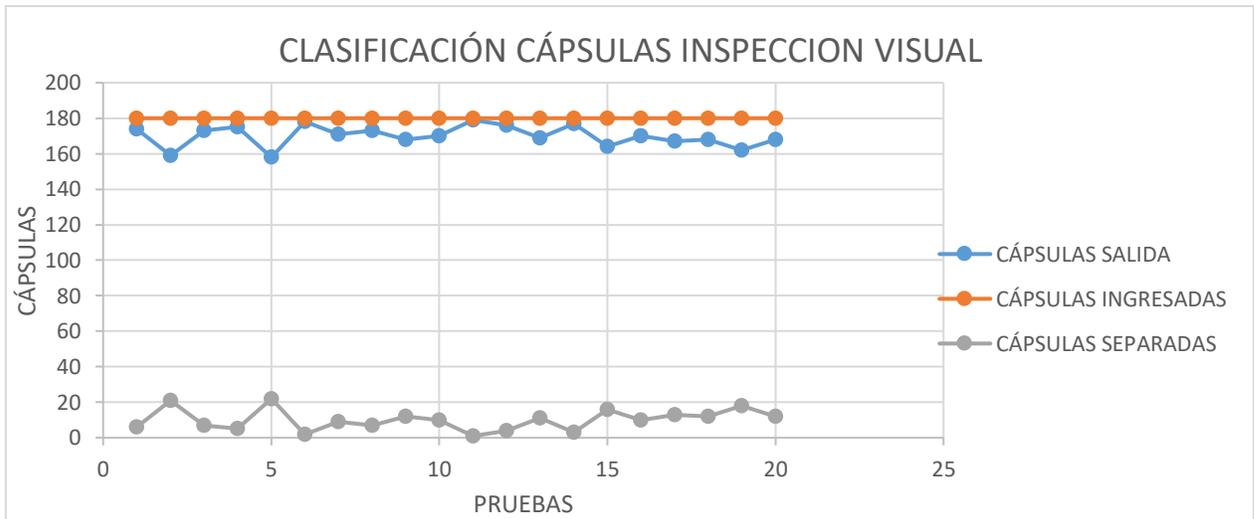


Figura 4.21 Resultados de prueba del alimentador elevador e inspección de calidad

Los valores obtenidos en la figura anterior son resultado de una prueba controlada ya que en el proceso real no se registran más de 50 gramos de producto defectuoso en el área de empaque por cada 100 000 cápsulas enfundadas.

### 4.3.3 PRUEBAS DEL MÓDULO 3 AGRUPADOR DE CÁPSULAS

El módulo 3 se configura de acuerdo a la necesidad del cliente en este caso se realizó las pruebas para un agrupamiento de 250 cápsulas y de 500 cápsulas y los resultados se muestran en la Figura 4.22 y los registros de las pruebas se encuentran en el anexo F.

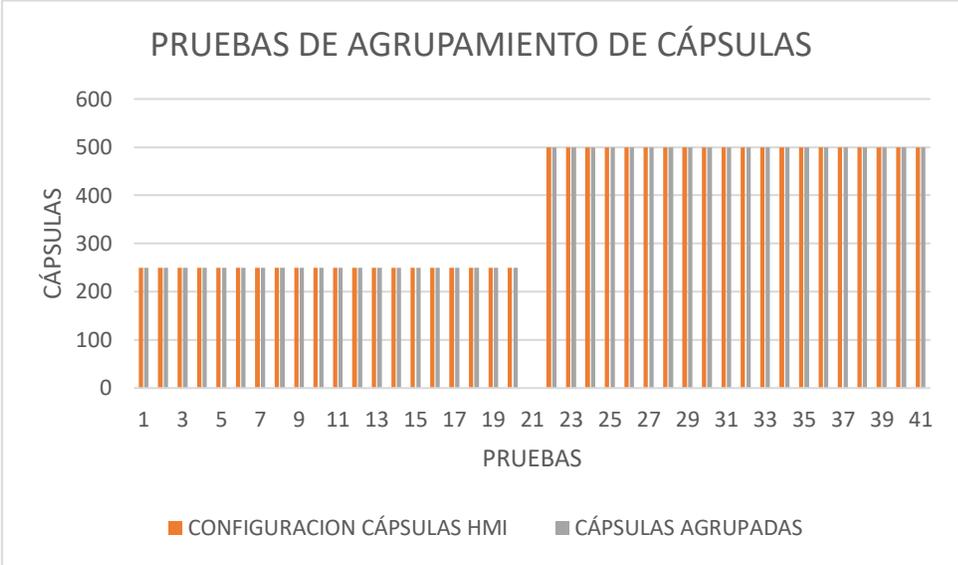


Figura 4.22 Resultados de pruebas de agrupamiento

### 4.3.4 PRUEBAS DEL MÓDULO 4 ALIMENTADOR CIRCULAR

El alimentador circular Figura 4.23 es únicamente un elemento de transporte que permite retener las capsulas agrupadas y dar paso al enfundado el momento que se requiera por lo que las pruebas son únicamente de verificación si esta acción ocurre cuando el agrupador termina su función.



Figura 4.23 Alimentador circular con producto previamente agrupado

#### 4.3.5 PRUEBAS DEL MÓDULO 5 FFS

Las pruebas del módulo 5 se realizan mediante la variación de 3 parámetros principales que influyen en el sellado como son:

- Temperatura de mordazas
- Presión aire
- Tiempo de sellado

En la Tabla 4.4 se verifica las variables y sus valores conjuntamente con el resultado obtenido para mayor referencia verificar las figuras que se presentas a continuación de la tabla para mayor comprensión de los tipos de sellado.

Tabla 4.4 resultados protocolo de pruebas y tiempos de sellado de la funda

NUMERO DE PRUEBA	TEMPERATURA °C	TIEMPO SEGUNDOS	PRESION DE AIRE PSI	RESULTADO
1	170	8	70	DEFICIENTE
2	172	8	80	DEFICIENTE
3	174	8	90	SEMI SELLADO
4	176	8	70	DEFICIENTE
5	178	8	80	DEFICIENTE
6	180	8	90	SEMI SELLADO
7	182	8	70	SEMI SELLADO
8	184	8	80	SEMI SELLADO
9	186	8	90	ÓPTIMO
10	188	8	70	ACEPTABLE
11	190	8	80	ÓPTIMO
12	170	9	70	ACEPTABLE
13	172	9	80	ACEPTABLE
14	174	9	90	ÓPTIMO
15	176	9	70	ACEPTABLE
16	178	9	80	ACEPTABLE
17	180	9	90	ÓPTIMO
18	182	9	70	ACEPTABLE
19	184	9	80	ÓPTIMO
20	186	9	90	ÓPTIMO
21	188	9	70	ACEPTABLE
22	190	9	80	ÓPTIMO
23	170	10	70	ACEPTABLE
24	172	10	80	ÓPTIMO
25	174	10	90	ÓPTIMO
26	176	10	70	ACEPTABLE
27	178	10	80	ÓPTIMO
28	180	10	90	ÓPTIMO
29	182	10	70	ACEPTABLE
30	184	10	80	ÓPTIMO
31	186	10	90	ÓPTIMO
32	188	10	70	ACEPTABLE
33	190	10	80	ÓPTIMO

A continuación se presentan los diferentes tipos de sellado que se obtuvieron de las pruebas en la figura 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28



Figura 4.24 prueba de sellado DEFICIENTE



Figura 4.25 prueba de sellado SEMI SELLADO



Figura 4.26 prueba de sellado ACEPTABLE



Figura 4.27 prueba de sellado ÓPTIMO



Figura 4.28 prueba de sellado DERRETIDO

## 4.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE EMPACADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las Pruebas de Funcionamiento de la línea de empacado se realizan de la manera explicada en el flujograma Figura 4.23

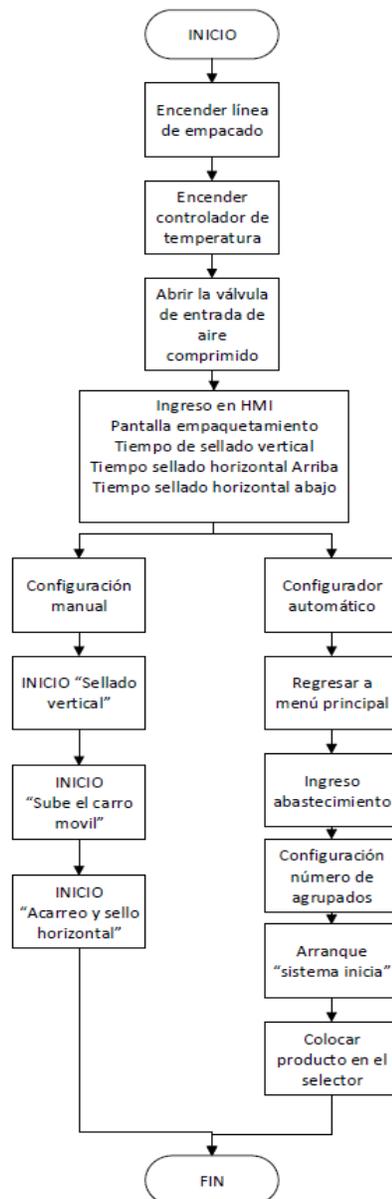


Figura 4.29 Flujograma de configuración y puesta en marcha

Después de realizadas las pruebas de funcionamiento global de las máquinas y obtener resultados exitosos se obtiene los tiempos de proceso de producto en cada módulo y el tiempo total de empaquetamiento del producto presentados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Tiempos de procesamiento de producto en la línea de empaqueo

Descripción	Valor	Unidades
Tiempo ciclo selector	10	Segundos
Cantidad por ciclo	$20 \times 5 = 100$	Cápsulas
Tiempo de ciclo elevador	11	Segundos
Cantidad por ciclo	120	Cápsulas
Tiempo de ciclo agrupador	6	Segundos
Cantidad por ciclo	50	Cápsulas
Tiempo de alimentación	$2 \text{ circular} + 6 \text{ ducto} = 8$	Segundos
Tiempo de sellado	$8 \text{ vertical} + 3 \text{ horizontal} = 11$	Segundos

Una vez realizado las pruebas de empaquetamiento del producto se ha obtenido resultados exitosos permitiendo un manejo de cantidades elevadas de producto continuamente como se muestra en la Figura 4.30 la capacidad de proceso independiente de producto de cada módulo por hora.

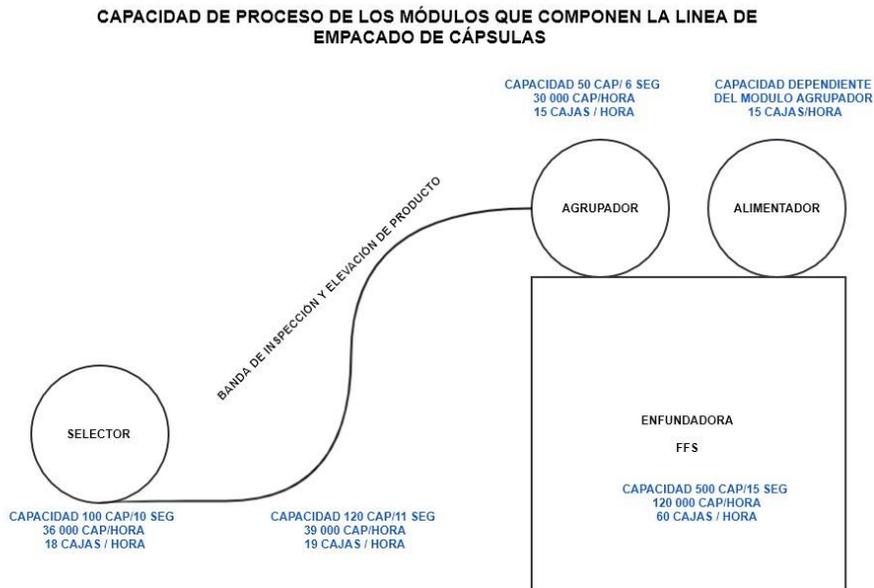


Figura 4.30 Capacidad de proceso de producto por módulos

De la Figura 4.30 se puede notar que el proceso es sumamente eficiente respecto al proceso productivo que entrega 8000 cápsulas por hora lo que representa 4 cajas por hora e incluso se verifica que el sistema tiene un cuello de botella en el módulo 3 que corresponde al Agrupador.

El tiempo de recorrido de las cápsulas desde su ingreso hasta su salida a la funda de empaque es de 7 minutos que es el tiempo que inicialmente la máquina tarda en hacer la primera funda.

La máquina inicialmente realiza 3 empaques vacíos y después de realizado el primer empaque con capsulas en su interior de manera general el sistema empacaría las 500 cápsulas cada minuto permitiendo el empackado de las 64 000 cápsulas producidas en una jornada de 8 horas en menos de 3 horas, comparando con la eficiencia de proceso de empackado actual de la fábrica 64000 cápsulas empackadas en 12,8 horas con el sistema de empackado automático se obtiene una mejora de aproximadamente 600% con un nivel de repetitividad de 98%.

La Figura 4.31 muestra una funda realizada por la maquina en el proceso de calibración y ajuste obteniendo resultados aceptables y funcionales para el empackado del producto.



Figura 4.31 Empaque realizado por línea de empacado de cápsulas

A continuación se presenta la línea de empacado de capsulas en la figura 4.32



Figura 4.32 Línea automática de empacado de cápsulas

## CONCLUSIONES

- La máquina FFs de la línea de empaçado, forma fundas de 24 cm de ancho y 30 cm de largo, y ésta medida no puede ser modificada ya que los componentes mecánicos están diseñados para ésta medida.
- La cantidad de producto que se desea empaçar es variable en múltiplos de 50 unidades debido a su disco que se ha diseñado para esta aplicación, el mismo que puede ser reemplazado por otro con diferentes patrones de agrupamiento de así requerirlo.
- La línea de empaçado cuenta con seguro contra sobre carga de producto, por lo que si esto llega a suceder la máquina deja de funcionar para evitar derrames de producto.
- El sistema cuenta con un paro general de emergencia que detiene todas las piezas y las reestablece a su posición inicial
- La línea de empaçado puede procesar una capacidad máxima de 30.000 cápsulas por hora ininterrumpidamente por 24 horas y esta capacidad está definida por que es la mínima en el sistema de empaçado ya que aun cuando varios de los módulos pueden procesar el producto con mayor rapidez están limitados al módulo más lento que sería el módulo de agrupamiento.
- El gabinete de control está diseñado de manera que se puede añadir un switch Ethernet para crear una red interna y una aplicación para su configuración y manejo remoto.
- Toda la información o parámetros se ingresan y visualizan en el HMI.
- El HMI muestra variables del proceso y resultados del mismo, lo que permite manejar de manera efectiva el registro de producto empaçado.
- El sistema de alimentación de lámina plástica es muy práctico y fácil de montar y desmontar para agilizar el cambio de material.
- La línea de empaçado se ha diseñado con uniones empernadas de tornillería comercial y no requiere de herramientas sofisticadas para su mantenimiento.

- La línea de empaçado requiere una presión mínima de 0,7 MPa para su correcto funcionamiento.
- La línea de empaçado cuenta con un reservorio propio de aire para garantizar la estabilidad de provisión de aire comprimido al sistema y su correcto funcionamiento.
- La temperatura ideal de sellado para la lámina de polietileno varía entre 120-160°C
- El tiempo de aplicación de las mordazas para la transferencia de calor al plástico es de entre 1-8 segundos.
- La línea de empaçado cuenta con un manómetro para controlar la presión del sistema en cualquier momento.
- La Línea de empaçado maneja sistemas de temperatura y por esta razón debe mantenerse en un área cerrada libre de circulación de flujos aire que puedan afectar la temperatura de las mordazas y a su vez generar sellado defectuoso en las fundas por la variación de calor de la mordaza.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que la configuración del compresor sea mayor de 0,7 MPa, para garantizar en la línea de entrada mayor presión que en el reservorio siempre.
- Es recomendable que el operario mantenga la máquina selectora con producto todo el tiempo durante el proceso de empaçado, ya que la máquina automáticamente alimentará el mismo, pero si la maquina no detecta producto se detendrá
- Se recomienda lubricar la cadena de la banda transportadora con WD40 después de 100 horas de uso, para prevenir resequedad y ruido excesivo por rozamiento.
- Se recomienda desconectar la línea de aire principal una vez finalizado el proceso de empaçado para prevenir posibles fugas de aire comprimido.
- Se recomienda realizar una configuración adecuada variando presión, tiempo, temperatura para obtener un sellado con mejor acabado.
- Se recomienda hacer modificaciones en el ducto de alimentación para prevenir arrugas en la formación de la funda y mejorar su apariencia.

- Se recomienda añadir un módulo de expansión al CPU, para colocar una luz indicadora del estado del proceso que permita al operario fácilmente determinar el estado de la máquina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] skywalker.com, «skywalker.com,» 22 05 2017. [En línea]. Available: skywalker.com [1]. [Último acceso: 13 01 2018].
- [2] punisherspb.com, «punisherspb.com,» 03 07 2015. [En línea]. Available: punisherspb.com. [Último acceso: 11 01 2018].
- [3] Y. MATHON, «Envases Y Embalajes,» *cuadernillo envases y embalajes INTI*, vol. 1ra ED, nº 3, p. 24, 2012.
- [4] www.google.com.ec/search?q=empacadora+volumetrica, «www.google.com.ec/search?q=empacadora+volumetrica,» 07 03 2017. [En línea]. Available: www.google.com.ec/search?q=empacadora+volumetrica. [Último acceso: 12 01 2018].
- [5] www.tme.com.co/empacadoras-automaticas/multicabezal/emc-10/, «www.tme.com.co/empacadoras-automaticas/multicabezal/emc-10/,» 04 11 2015. [En línea]. Available: www.tme.com.co/empacadoras-automaticas/multicabezal/emc-10/. [Último acceso: 12 01 2018].
- [6] www.qncomponentes.com/maquinaria-para-empaque.html, «www.qncomponentes.com/maquinaria-para-empaque.html,» 21 08 2017. [En línea]. Available: www.qncomponentes.com/maquinaria-para-empaque.html. [Último acceso: 24 01 2018].
- [7] https://es.made-in-china.com/co\_acmecn/product\_Grain-Seeds-Classifiers-Small-Electric-Sieve-Soybean-Grading-Vibrating-Screen\_rnyrusshg.html, «https://es.made-in-china.com/co\_acmecn/product\_Grain-Seeds-Classifiers-Small-Electric-Sieve-Soybean-Grading-Vibrating-Screen\_rnyrusshg.html,» 30 01 2015. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co\_acmecn/product\_Grain-

Seeds-Classifiers-Small-Electric-Sieve-Soybean-Grading-Vibrating-Screen\_rnyrusshg.html. [Último acceso: 12 01 2018].

- [8] <http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>, «<http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>,» 24 1 2012. [En línea]. Available: <http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>. [Último acceso: 12 1 2018].
- [9] [www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html), «[www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html),» 25 06 2015. [En línea]. Available: [www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html). [Último acceso: 12 01 2018].
- [1 0] [www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html), «[www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html),» 10 12 2018. [En línea]. Available: [www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html](http://www.encapsulando.com/semiautomaticas/287-contadora-semiautomatica-ct100sp.html). [Último acceso: 12 01 2018].
- [1 1] alibaba, «<https://spanish.alibaba.com/product-detail/automatic-ffs-detergent-powder-filling-sealing-packing-machine-60551883222.html>,» alibaba, 07 05 2017. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/automatic-ffs-detergent-powder-filling-sealing-packing-machine-60551883222.html>. [Último acceso: 21 05 2018].
- [1 2] [www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/](http://www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/), «[www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/](http://www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/),» 26 3 2017. [En línea]. Available: [www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/](http://www.ptchronos.com/es-mx/soluciones-para/empaque-flexible/soluciones-extrafinos/). [Último acceso: 12 1 2018].
- [1 3] h. <http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd.html>, «[https:// http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd.html](https://http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd.html),» 10 10 2017. [En línea]. Available: [https:// http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd.html](https://http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd.html). [Último acceso: 17 1 2018].
- [1 4] .: <http://www.directindustry.es/prod/hongsbelt-international-hk-limited>, «<http://www.directindustry.es/prod/hongsbelt-international-hk-limited>,» 12 2 2017. [En línea]. Available: : <http://www.directindustry.es/prod/hongsbelt-international-hk-limited>. [Último acceso: 17 1 2018].

- [1] [http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas\\_Industriales\\_Canglion](http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas_Industriales_Canglion),  
 5] «[http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas\\_Industriales\\_Canglion](http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas_Industriales_Canglion),» 21 2 2016.  
 [En línea]. Available:  
[http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas\\_Industriales\\_Canglion](http://www.eymproductostecnicos.com/Bandas_Industriales_Canglion). [Último  
 acceso: 17 1 2018].
- [1] R. G. BUDYNAS, DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA DE SHILGEY, MEXICO:  
 6] MC-GRAW HILL , 2008.
- [1] R. G. Budynas, «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» de *Diseño en*  
 7] *ingeniería mecánica de Shigley*, mexico, Mc grow hill, 8va Edición , p. 500.
- [1] R. L. MOTT, RESISTENCIA DE MATERIALES, MEXICO: PEARSON, 2009.  
 8]
- [1] D. Felipa, «TRIBOLOGIA FRICCIÓN DESGASTE Y LUBRICACIÓN,»  
 9] CUATITLUAN, MEXICO, 2007.
- [2] <http://uno2y3.com/inercia-y-momento-de-inercia/>, «<http://uno2y3.com/inercia-y-momento-de-inercia/>,» <http://uno2y3.com/inercia-y-momento-de-inercia/>, 09 05  
 0] <http://uno2y3.com/inercia-y-momento-de-inercia/>, 2017. [En línea]. Available: <http://uno2y3.com/inercia-y-momento-de-inercia/>.  
 [Último acceso: 20 07 2018].
- [2] <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/solido/minercia.html>,  
 1] «<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/solido/minercia.html>,»  
<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/solido/minercia.html>, 03 09 2015. [En  
 línea]. Available:  
<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/solido/minercia.html>. [Último acceso:  
 20 07 2018].
- [2] bosch, «[https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-](https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-2)  
 2] [eletricos](https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-2),» bosch, 01 01 2011. [En línea]. Available:  
[https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-](https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-2)  
[eletricos](https://es.scribd.com/document/323899844/Catalogo-Bosch-motores-2).  
 [Último acceso: 16 07 2018].
- [2] blower, «alibaba,» alibaba, 01 01 2018. [En línea]. Available:  
 3] [https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminum-electric-2-inch-blower-fan-](https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminum-electric-2-inch-blower-fan-60132638047.html)  
[60132638047.html](https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminum-electric-2-inch-blower-fan-60132638047.html). [Último acceso: 20 07 2018].
- [2] plastigama, «plastigama,»  
 4] [https://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Tuberias\\_y\\_accesorios\\_PVC.pdf](https://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Tuberias_y_accesorios_PVC.pdf)  
 , 22 02 2010. [En línea]. Available:

- [https://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Tuberias\\_y\\_accesorios\\_PVC.pdf](https://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Tuberias_y_accesorios_PVC.pdf). [Último acceso: 22 07 2018].
- [2 Coeficiente\_de\_arrastre, «[https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_arrastre](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_arrastre),»  
5] wiki, 27 04 2012. [En línea]. Available:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_arrastre](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_arrastre). [Último acceso: 20 07 2018].
- [2 Norton, Diseño de máquinas, Mexico: Prentice Hall, 1999.  
6]
- [2 AIRTAC, «<http://airtac.com/en/upload/201507290458101746.PDF>,» AIRTAC, 01 01  
7] 2010. [En línea]. Available: <http://airtac.com/en/upload/201507290458101746.PDF>.  
[Último acceso: 22 07 2018].
- [2 <http://www.tecneveca.com/xcpc/Neumatica%20e%20Hidraulica%20xcpc.pdf>,  
8] «<http://www.tecneveca.com>,» <http://www.tecneveca.com>, 01 01 2010. [En línea].  
Available:  
<http://www.tecneveca.com/xcpc/Neumatica%20e%20Hidraulica%20xcpc.pdf>.  
[Último acceso: 26 07 2018].
- [2 B. B. RODRIGO, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MAQUINA SELLADORA  
9] SEMIAUTOMATICA,» ESCUELA POLITECNICA NACIONAL , QUITO, 2007.
- [3 A. Guardiola, «Diseño y calculo de uniones con tornillos no pretensados,» escuela  
0] técnica superior de arquitectura de valencia , Valencia, 2000.
- [3 Siemens, «SIMATIC S7-1200 CONTROLADOR PROGRAMABLE,» SIEMENS ,  
1] ALEMANIA, 2000.
- [3 SIEMENS, «KTP HMI PANELS,» SIEMENS , ALEMANIA , 2000.  
2]
- [3 I. mauricio, «diseño y construccion de maquina empacadora para snaks,» Espe,  
3] Quito, 2011.
- [3 <http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>, «<http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>,»  
4] <http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>,» 10 10 2017. [En línea]. Available: <http://vibrascreener.com/es/ranger-separator/>. [Último acceso: 12 1 2018].
- [3 [www.ptchronos.com/es-mx/productos/lienadores-bolsas-valvula/aplicadores-bolsas-  
5\] valvula-509/](http://www.ptchronos.com/es-mx/productos/lienadores-bolsas-valvula/aplicadores-bolsas-valvula-509/), «[www.ptchronos.com/es-mx/productos/lienadores-bolsas-  
valvula/aplicadores-bolsas-valvula-509/](http://www.ptchronos.com/es-mx/productos/lienadores-bolsas-valvula/aplicadores-bolsas-valvula-509/),» 07 07 2017. [En línea]. Available:

www.ptchronos.com/es-mx/productos/lienadores-bolsas-valvula/aplicadores-bolsas-valvula-509/. [Último acceso: 12 1 2018].

- [3] <https://www.ebay.com/itm/Nema23-Worm-Gearbox-Geared-Reducer-7-5-10-15-20-30-Stepper-Motor-3Nm-L112mm/191873558544?hash=item2cac8e2810%3Am%3Amu2WOIFzz5qXA2tzbPnSTcQ&var=490916935921>, «<https://www.ebay.com/itm/Nema23-Worm-Gearbox-Geared-Reducer-7-5-10-15-20-30-Stepper-Motor-3Nm-L112mm/191873558544?hash=item2cac8e2810%3Am%3Amu2WOIFzz5qXA2tzbPnSTcQ&var=490916935921>», 21 02 2018. [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/itm/Nema23-Worm-Gearbox-Geared-Reducer-7-5-10-15-20-30-Stepper-Motor-3Nm-L112mm/191873558544?hash=item2cac8e2810%3Am%3Amu2WOIFzz5qXA2tzbPnSTcQ&var=490916935921>. [Último acceso: 10 05 2018].
- [3] sumtor, «aliexpress,» alibaba, 05 07 2018. [En línea]. Available:
- [7] [https://www.fasttobuy.com/ratio-101-selflock-hightorque-l56mm-nema23-3a-rv30-turbine-worm-gearbox-geared-stepper-motor-decorating-machine-57hs5630a4jd11rv3010\\_p35730.html](https://www.fasttobuy.com/ratio-101-selflock-hightorque-l56mm-nema23-3a-rv30-turbine-worm-gearbox-geared-stepper-motor-decorating-machine-57hs5630a4jd11rv3010_p35730.html). [Último acceso: 05 07 2018].
- [3] academia, «academia,» academia, 12 02 2018. [En línea]. Available:
- [8] [http://www.academia.edu/5319040/ARRASTRE\\_Y\\_SUSTENTACI%C3%93N](http://www.academia.edu/5319040/ARRASTRE_Y_SUSTENTACI%C3%93N). [Último acceso: 20 07 2018].