



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL DESPALETIZADO  
Y TRANSPORTE DE LATAS EN UNA LÍNEA DE ENVASADO DE  
PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO**

**TUTOR ACADÉMICO.**

Ing. María Lourdes Ochoa

**AUTORES.**

Br. Victor Lizcano

Br. Carlos Loreto

Valencia, Abril del 2008





**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL DESPALETIZADO  
Y TRANSPORTE DE LATAS EN UNA LÍNEA DE ENVASADO DE  
PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TUTOR ACADÉMICO.**

Ing. María Lourdes Ochoa

**AUTORES.**

Br. Victor Lizcano

Br. Carlos Loreto

Valencia, Abril del 2008





**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado “*Diseño de un sistema automatizado para el despaletizado y transporte de latas en una línea de envasado de productos de consumo masivo*”, realizado por los bachilleres: Victor Javier Lizcano Arias, C.I.: 17.067.620 y Carlos José Loreto Franchi, C.I.: 16.049.548, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. María Lourdes Ochoa

Tutor

---

Prof. Luis Escalona

Jurado

---

Prof. Napoleón González

Jurado

Valencia, Abril del 2008



Dedicada a nuestros padres,  
quienes nos brindan  
siempre todo su amor y apoyo  
incondicional para lograr el éxito





---

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Carabobo (Facultad de Ingeniería), por habernos permitido formar parte de su casa de estudio y formarnos como profesionales del país.

A la Profesora María Lourdes Ochoa por servirnos de guía y brindarnos su conocimiento y experiencia en la elaboración del trabajo de grado.

Al Profesor Luis Escalona por brindarnos su ayuda y conocimientos de manera desinteresada.

A la empresa Alimentos La Giralda, C.A, especialmente al Ing. Pedro Arias por confiar en nosotros y darnos su apoyo y colaboración en todo momento para la realización de la investigación.

A todas aquellas personas que de alguna manera estuvieron pendientes, preocupados y que de manera desinteresada nos ofrecieron su ayuda en la culminación de esta meta tan importante para nosotros.





---

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	3

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.3. OBJETIVOS .....	8
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	9
1.5. LIMITACIONES .....	10
1.6. DELIMITACIONES.....	10

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.2. ESTUDIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ASÍ COMO EL DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO .....	12



---

2.3.	BASES TEÓRICAS [6], [8] .....	15
------	-------------------------------	----

### CAPÍTULO III

#### MARCO METODOLOGICO

3.1.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN. ....	21
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
3.3.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS .....	22

### CAPÍTULO IV

#### DESARROLLO

4.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE DESPALETIZADO Y TRANSPORTE DE LATAS PROPUESTO .....	23
4.2.	DIAGRAMA DE POTENCIA PARA EL SISTEMA DISEÑADO.....	30
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA DE DESPALETIZADO DE LATAS .....	33
4.4.	DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE DESPALETIZADO ..	50
4.5.	LISTADO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA DISEÑADO .....	52
4.6.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	53
4.7.	ESQUEMA DE CONTROL .....	54
4.8.	PROGRAMACIÓN DEL PLC .....	56



---

CAPÍTULO V

SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DISEÑADO Y  
FACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.1. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA .....	59
5.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	65
5.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA [3].....	80
CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES .....	87
BIBLIOGRAFÍA .....	89
APÉNDICES.....	91
Apéndice A.....	93
Cálculo del peso de las paletas .....	93
Apéndice B .....	95
B.1 Cálculo estructural “Estructura N° 1”.....	95
B.2 Cálculo estructural “Estructura N° 2” .....	99
B.3 Cálculo estructural, “estructura N° 3” .....	103
B.4 Cálculo estructural, “estructura N° 4” .....	105
Apéndice C .....	109
Diseño del Sistema Acumulador de Paletas .....	109
Apéndice D.....	115
Aproximación de la velocidad de la despaletizadora .....	115
ANEXOS .....	117





---

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

Tabla N° 1. Características de las latas .....	6
--	---

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

Tabla N° 2.1. Tiempo de despaletizado.....	14
Tabla N° 2.2. Tiempo de tapado.....	14
Tabla N° 2.3. Tiempo de extracción de latas.....	15

### CAPÍTULO IV

#### DESARROLLO

Tabla N° 4.1. Listado de señales .....	52
--	----

### CAPÍTULO V

#### SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DISEÑADO Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Tabla N° 5.1. Características de la lámina de cartón.....	77
Tabla N° 5.2. Inversión Inicial .....	88
Tabla N° 5.3. Flujos monetarios del proyecto diseñado .....	83
Tabla N° 5.4. Flujo monetario de cada año del periodo de estudio .....	83
Tabla N° 5.5. Tiempo de pago .....	84





---

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

Diagrama N° 1.1. Diagrama del proceso de producción de la línea paralela latas..... 7

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

Figura N° 2.1 Estructura del sistema de mando. Fuente: aula virtual, Facultad de ingeniería, UC ..... 19

### CAPÍTULO IV

#### DESARROLLO

Figura N°4.1 Etapas del sist. automatizado de despaletizado y transporte de latas.... 23

Figura N° 4.2. Transportadores de rodillos ..... 24

Figura N° 4.3. Estructura de soporte del sistema ..... 24

Figura N° 4.4. Banda transportadora de recepción de latas vacías ..... 25

Figura N° 4.5. Componentes del acumulador de paletas ..... 25

Figura N° 4.6. Actuador 1.0 ubicado verticalmente al final del transportador N°1.... 26

Figura N° 4.7. Componentes encargados de la extracción de latas ..... 27

Figura N° 4.8. Conjunto de aspiración para la extracción de cartones ..... 27

Figura N° 4.9. Actuadores sin vástago..... 28

Figura N° 4.10. Conjunto armado y sensores del sistema automatizado ..... 29

Figura N° 4.11. Diagrama de Potencia..... 31

Figura N° 4.12. Diagrama de fuerza..... 32



---

Figura N° 4.13. Colocación de la paleta en el sistema .....	33
Figura N° 4.14. Detención de la paleta en el área del despaletizado.....	34
Figura N° 4.15 (A). Movimiento descendente de 2.0, (B) Activación del sensor B11 y (C) Atracción de las latas al cabezal.....	35
Figura N° 4.16. Movimiento ascendente del actuador 2.0, se observa como las latas suben junto al cabezal.....	36
Figura N° 4.17. Movimiento de los actuadores 5.0 y 6.0. ....	37
Figura N° 4.18 (A) Movimiento descendente de los actuadores 2.0 y 4.0 .....	38
Figura N° 4.19. (A) Movimiento descendente de las latas sobre el transportador M3 y (B) Movimiento ascendente del cartón debido a la succión de las ventosas .....	39
Figura N° 4.20. Movimiento ascendente de 2.0 y 4.0. 40 .....	40
Figura N° 4.21. Retorno de los actuadores 5.0 y 6.0 .....	41
Figura N° 4.22. Descenso de los actuadores 2.0 y 4.0.....	42
Figura N° 4.23. Ascenso del actuador 2.0 y 4.0 .....	43
Figura N° 4.24. Extracción de la última capa de latas, desactivación de B10.....	44
Figura N° 4.25 (A, B y C). Finalización del proceso de despaletizado .....	45
Figura N° 4.26 (A, B y C). Retracción y extensión del vástago del actuador 1.0 .....	46
Figura N° 4.27. Introducción de una paleta llena al sistema. ....	47
Figura N° 4.28. Ubicación de las paletas luego del avance debido a M1 y M3 .....	48
Figura N° 4.29. Detección de la paleta vacía por S3 .....	48
Figura N° 4.31. Diagrama funcional del sistema.....	51
Figura N° 4.32 Diagrama de conexión del PLC. ....	55
Figura N° 4.31. Programación en escalera del PLC .....	56



---

## CAPÍTULO V

### SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DISEÑADO Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Figura N° 5.1. Elementos mecánicos a diseñar .....	60
Figura N° 5.2. Estructura N° 1.....	61
Figura N° 5.3. Estructura N° 2.....	62
Figura N° 5.4. Estructura N° 3.....	62
Figura N° 5.5. Estructura N° 4.....	63
Figura N° 5.2.1. Distribución de fuerzas y momentos que actúan sobre los actuadores sin vástago.....	69

### APÉNDICES

Figura B.1. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento.....	95
Figura B.2. Patrón de soldadura en la unión de los ángulos N° 1 y N° 2.....	96
Figura B.3. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento, ángulo N° 1.....	99
Figura N° B.4. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento, ángulo N° 2.....	100
Figura B.5. Patrón de soldadura en la unión de los ángulos A y B.....	101
Figura B.6. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento de la pletina A.....	103
Figura B.7. Patrón de soldadura en la unión de las pletinas A, B y C.....	104
Figura N° B.8. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento.....	105
Figura B.9. Columna de soporte.....	106
Figura B.10. Patrón de soldadura en la unión de las pletinas y las columnas.....	107
Figura C.1. Diagrama de cuerpo libre, pletinas elevadoras.....	109
Figura C.2 Diagrama de cuerpo libre, ejes sistema acumulador.....	110





---

## RESUMEN

En búsqueda de mejorar la operatividad y condiciones de trabajo de la línea de enlatados (línea paralela), la empresa Alimentos La Giralda C.A. se plantea la necesidad de automatizar el proceso de despaletizado en la misma, ya que actualmente se realiza de manera manual por un operador, lo que impide que se cumpla con el objetivo deseado.

Para solucionar este problema surge como objetivo principal del presente trabajo de grado, el diseño de un sistema automatizado para el despaletizado y transporte de latas en una línea de envasado de productos de consumo masivo.

El proyecto consiste en una investigación de campo de tipo descriptivo, la cual se llevó a cabo mediante un análisis sistemático del problema, evaluación e interacción de los elementos que lo conforman. Basados en el estudio realizado se diseñó un sistema automatizado, utilizando la electroneumática y el control mediante lógica programada, que realice las actividades de despaletizado y transporte de latas con una mínima intervención por parte del operador.

Entre las conclusiones más importantes se tiene: incremento en la producción a razón de 60 latas/min, pudiendo ser incrementada dicha velocidad en el caso que se requiera y mejoramiento de las condiciones de trabajo para el operador. Se recomienda estudiar la posibilidad de implementar sistemas similares en las demás líneas de producción para continuar incrementando la operatividad general de la empresa.





---

## INTRODUCCIÓN

En busca de mejorar las condiciones de operatividad y el aumento de producción de la línea de envasado de latas (línea paralela), la empresa **LA GIRALDA, C.A.** se planteó la necesidad de “automatizar el proceso de despaletizado de latas” en dicha línea, el cual actualmente se realiza de forma manual, limitando la posibilidad de un incremento en la producción. La incorporación del sistema de despaletizado automatizado en la línea representará un gran avance en cuanto a la modernización e incremento en la producción sin necesidad de aumentar la mano de obra.

El sistema de despaletizado y transporte se diseñó en base a un estudio de las variables que intervienen en el proceso de producción, tales como la capacidad de los equipos instalados en la línea, velocidad de producción, espacio disponible, entre otros y estableciendo cuales eran las limitantes para llevarlo a cabo.

Este nuevo sistema será capaz de extraer las latas vacías contenidas en una paleta a través de un cabezal magnético o electroimán y enviarlas mediante una banda transportadora hasta las llenadoras de latas de la línea de producción. A su vez, el sistema será capaz de retirar y acumular los cartones separadores y las paletas que luego serán utilizados en el proceso de paletizado al final del proceso productivo; todo esto con una intervención mínima del personal.

El sistema de despaletizado diseñado se ha fundamentado en los conocimientos adquiridos en la carrera y también se han utilizado herramientas tales como la electroneumática y el control mediante lógica programable (PLC), las cuales nos permiten desarrollar una tecnología de punta y limpia, factor de gran importancia para las empresas de este ramo.



La implementación del sistema también representa un aporte económico a la empresa ya que se aumentará la producción en 60 latas/min sin necesidad de modificar los equipos actuales de la línea o de aumentar el personal, con la posibilidad de continuar aumentando la producción si se reemplazan algunos equipos de la línea, por lo que ha resultado un proyecto económicamente factible.

En este trabajo se contemplan cinco capítulos que describen el estudio del diseño de un sistema automatizado para el despaletizado y transporte de latas en la empresa **La Giralda C.A.** En el Capítulo I, denominado el problema, se presenta el estudio de la situación problemática, a partir del cual se planteó un objetivo general y varios objetivos específicos, así como también, las limitaciones y delimitaciones del proyecto.

En el Capítulo II se describe el marco teórico en donde se muestran las bases teóricas y tópicos relacionados con el diseño de un sistema de despaletizado, así como otros de interés para dicha investigación.

En el Capítulo III, denominado marco metodológico, se aborda la metodología adoptada para llevar a cabo el diseño en cuestión.

En el Capítulo IV se presenta la solución al problema planteado y se describen las características principales y funcionamiento del sistema diseñado.

Para finalizar, en el Capítulo V se encuentra la selección justificada de los elementos que componen al sistema y el estudio económico completo para la verificación de la rentabilidad del proyecto.



---

## CAPÍTULO I EL PROBLEMA

Este capítulo esta conformado por el planteamiento y la formulación del problema, los objetivos, la justificación, limitaciones y delimitaciones del diseño del sistema.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Alimentos **La Giralda C.A.**, es una industria destinada al procesamiento y envasado de productos alimenticios. Se encuentra ubicada en la zona industrial de Cagua, Estado Aragua. Actualmente la empresa procesa una gran variedad de productos entre los que se destacan: envasado de aceitunas enteras y/o rellenas de pimientos, alcaparras, encurtidos, encurtidos en salsa de mostaza, ketchup, pasta de tomate, maíz dulce en granos y/o crema, adobo completo, aceite de oliva, mayonesa, guisantes, entre otros, bajo la marca de **La Giralda**.

Alimentos **La Giralda C.A.** cuenta con cuatro líneas principales que son:

- Línea de ketchup ó Manzini.
- Línea Lora Zamora.
- Línea de mayonesa.
- Línea de enlatado ó paralela.

En la línea de enlatado, se manejan tres tipos de latas, para envasar un aproximado de 10 productos entre los que se indican: maíz en crema, salsas, guisantes y guisantes con zanahoria. Estas se presentan en paletas de 142 cm x 109 cm, dispuestas unas sobre otras, separadas en camadas o pisos por medio de un cartón y envueltas por una película plástica que tiene la finalidad de protegerlas. Las principales dimensiones de las latas se pueden observar en la tabla N° 1.



Tabla N° 1. Características de las latas. Fuente propia.

Tamaño (pulgadas)		Peso (gr./unidad)	N° de camadas (pisos)	N° de latas por camada	N° de latas por paleta
Diámetro	Altura				
2,11	2,01	27,5	26	360	9360
2,11	3	35,67	16	360	5760
3	4,09	60,8	13	288	3744

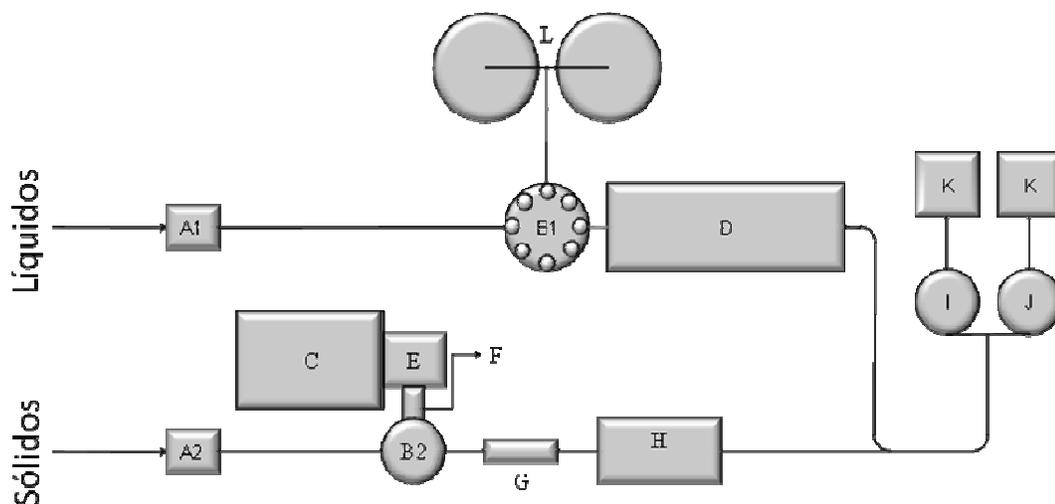
La línea paralela posee dos ramificaciones, una para los líquidos y otra para los sólidos, como se puede observar en el diagrama N° 1. El proceso se describe de la siguiente manera:

- **Línea de líquidos:** estos se preparan en las ollas (L) para luego ser llevados hasta la llenadora de latas (B1) para su posterior envasado.

Paralelamente las latas vacías que se encuentran sobre las paletas son trasladadas a planta por medio de un montacargas, luego estas son desembaladas y colocadas manualmente en el alimentador de envases rotativo (A1), este proceso es llamado despaletizado. El alimentador de envases rotativo consiste en un plato giratorio, donde se aprovecha el efecto centrífugo logrando así que las latas se desplacen desde el centro hacia fuera del plato hasta que entren a la línea. Luego las latas descenden por gravedad a través de un riel, debido a que dicho alimentador se encuentra en una mezanina, para ser transportadas hasta la llenadora (B1). A partir de esta, por medio de bandas transportadoras son trasladadas al exhauster (D) donde mediante una saturación de vapor se extrae el oxígeno para crear el vacío en la lata, luego estas son llevadas hasta las tapadoras (I o J) y finalmente a la mesa de recepción (K) en donde manualmente se colocan en cestas, para ser trasladadas al autoclave (cuando el proceso lo requiera) y luego a las etiquetadoras.

- **Línea de sólidos:** el producto es introducido manualmente al blancher (C), luego es llevado por un elevador de cangilones (F) hasta la llenadora de sólidos (B2) donde es envasado.

De la misma manera que en la línea de líquidos, después del proceso de despaletizado, las latas son llevadas mediante una banda transportadora hasta la llenadora (B2), luego estas pasan por la llenadora de líquidos (G), por el exhauster (H) y por las tapadoras (I o J), finalmente llegan a la mesa de recepción y son colocadas manualmente en cestas donde son trasladadas al autoclave (si el proceso lo requiere) y luego a las máquinas etiquetadoras.



**LEYENDA:**

A1 Alimentador de envases rotativo (nivel mezanina).	C Blancher	H Exhauster Pequeño
A2 Alimentador de envases rotativo (nivel piso).	D Exhauster Grande	I Tapadora Canco 400
B1 Llenadora de Faudler	E Salida de blancher	J Tapadora Canco 06
B2 Llenadora de Sólidos	F Elevador de cangilones	K Mesas de recepción
	G Llenadora de líquidos	L Ollas de preparación

Diagrama N° 1.1. Diagrama del proceso de producción de la línea paralela.



Actualmente la empresa desea mejorar la producción en dicha línea (paralela), de tal manera de fortalecer su participación en el mercado, en donde, la intervención manual por parte de los trabajadores en la alimentación de latas, impide de alguna manera que se cumpla éste objetivo.

Por otra parte está el hecho de no disponer de área suficiente para las maniobras del montacargas y esto además, influye en el desempeño de los operarios para que lleven a cabo las actividades manuales, propias de este proceso, tales como el despaletizado de las latas y la introducción de los productos sólidos al blancher. Tampoco es deseable la entrada constante de los montacargas a la planta, la cual por tratarse de una procesadora de alimentos, se necesita contar con un estricto control de higiene en el lugar. Por último, debido a que el abastecimiento de latas al alimentador se hace de manera manual disminuye la eficiencia en el proceso ya que se generan paradas innecesarias por falta de latas ocasionando discontinuidad en dicho proceso.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera es posible mejorar la producción de la línea de enlatado (paralela) y las condiciones de operatividad en dicha línea?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema automatizado para el despaletizado y transporte de latas en una línea de envasado de productos de consumo masivo.



---

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el proceso de producción de la línea de enlatado (paralela), así como también las especificaciones técnicas de los diferentes equipos que la conforman.
- Identificar y determinar las características y variables que intervienen en dicho proceso, con el propósito de analizar los requerimientos de producción y poder llevar a cabo la mejora, tomando en consideración la continuidad del proceso de producción.
- Diseñar el sistema automatizado para el despaletizado y transporte de latas en función de los requerimientos de producción vs. capacidades de las máquinas.
- Estudiar la factibilidad económica de la solución propuesta.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN

En la línea de enlatado de la empresa LA GIRALDA C.A. se plantea la necesidad de mejorar las condiciones de operatividad así como lograr un incremento de la producción. Para ello se desea la sustitución de las operaciones manuales en el área de despaletizado que impiden el buen desempeño de los trabajadores y el aumento de la producción en la línea, además de ocasionar la entrada continua del montacargas al área de producción afectando la higiene del proceso y la seguridad de los trabajadores.

El hecho de automatizar el proceso de despaletizado traerá como consecuencia un aumento en la productividad así como también un mejoramiento de las condiciones de operatividad de la línea.



### **1.5. LIMITACIONES**

- El diseño del sistema debe realizarse en base al tamaño de las latas así como a las paletas.
- La falta de espacio en planta dificulta la disposición adecuada del sistema.
- Los equipos instalados en la línea de enlatado o paralela no serán sustituidos o modificados, y la operación del sistema estará determinada por la capacidad de los mismos.

### **1.6. DELIMITACIONES**

- El diseño corresponde al sistema de despaletizado y transporte de latas hasta las llenadoras (B1 y B2) en la línea de enlatado (paralela).



---

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes de la investigación, seguido del estudio de las variables que intervienen en el proceso de producción. Por último se muestran los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión de los elementos constitutivos de una despaletizadora.

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan algunos trabajos realizados en la Universidad de Carabobo que servirán de apoyo para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

- **PARDO (2000)**. Diseñó un sistema que efectúe el paletizado de las botellas de dos litros, las cuales serán llevadas a embotelladoras. Con el diseño del sistema se logra el apilamiento y paletizado de las mismas aumentando la velocidad del proceso y dando continuidad a éste, además de reducir los costos de transporte ya que se aumenta el número de botellas por paleta y una disminución del número de operarios en la línea.
- **PALACIOS y VALPUESTA (2002)**. Implementaron un sistema automatizado que realice la transferencia y transporte de envases de una línea de etiquetado, en donde se desarrolló el diseño de una máquina que efectúe dicha operación. La implementación del diseño pretende una mejora en la operatividad, minimizando los tiempos de parada, disminución de los costos además de hacer el proceso más eficiente.
- **LOBO y MARIÑO (2003)**. Diseñaron una línea de transporte automatizada para una empresa productora de envases plásticos optimizando una línea de producción. Entre



otros aspectos se plantearon reducir el número de operarios en la línea y un mejoramiento del orden, limpieza y seguridad de los mismos. Para esto se diseñó un sistema de bandas transportadoras con control de tráfico con el fin de evitar un posible choque entre los envases.

## 2.2. ESTUDIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ASÍ COMO EL DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

Inicialmente es necesario conocer la velocidad de la línea de producción, los principales equipos que la conforman y su influencia en ésta, de manera que al hacer un análisis, se determinó que las máquinas tapadoras Canco 400 y Canco 06 limitan actualmente la producción con velocidades de 120 latas/min. en envases de 2,01 y 3 pulgadas y de 60 latas/min. para envases de 4,09 pulgadas.

La tapadora Canco 400 puede trabajar a una velocidad variable entre 120 y 180 latas/min, pero actualmente motivado a que se realiza manualmente el proceso de despaletizado, la línea solo puede operar a su velocidad mínima. Con respecto a la tapadora Canco 06, esta trabaja a una velocidad fija de 60 latas/min. Así que en conclusiones las velocidades límites serán: 60 latas/min (mínimo) y 180 latas/min (máximo).

**Determinación de la velocidad actual de la línea de producción:** Con el fin de establecer los parámetros de diseño de la despaletizadora se obtuvo las especificaciones técnicas de los equipos, suministradas por el personal de mantenimiento, ya que no se posee manuales de dichas máquinas.

Actualmente el proceso maneja dos velocidades de producción: 120 latas/min para las latas de 2,01” y 3”, y 60 latas/min para las latas de 4,09”. Estas velocidades de producción están fijadas por las tapadoras Canco 400 y Canco 06, respectivamente.



La tapadora Canco 400, trabaja a una velocidad de 120 latas/min, pero puede alcanzar una velocidad máxima de 180 latas/min.

La tapadora Canco 06 posee una velocidad de 60 latas/min, y en esta no es posible aumentar dicha velocidad.

El resto de los equipos de la línea de producción, no influyen significativamente en la velocidad de la línea ya que estos pueden superar las velocidades fijadas por las tapadoras.

En una jornada de trabajo se realizó el proceso de envasado de maíz en crema en latas de 3”.

Los datos obtenidos son los siguientes:

Tiempo de jornada (TJ): 9 horas.

Tiempo de parada programado (TPP): 1 hora (almuerzo).

Tiempo parada no programado (TPNP): 35 min (paradas por ajustes de línea).

Unidades producidas (UP): 52.800 unidades.

Unidades rechazadas (UR): 43 unidades.

Con estos valores se pretende determinar la velocidad de producción, siendo la siguiente:

$$\text{Velocidad (latas/min)} = \frac{UP + UR}{TJ - TPP - TPNP} = 118,75 \text{ latas/min}$$

Finalmente comprobamos los resultados obtenidos con mediciones en campo durante el proceso de producción. Estas se obtuvieron en un en una jornada en la cual se envasaba maíz en crema en latas de 3”.



Las mediciones se realizaron en tres puntos, los cuales son:

- **Proceso de despaletizado:** este se realiza al inicio de la línea de manera manual por un solo operador, en donde por falta de espacio no es posible colocar más de uno. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1. Tiempo de despaletizado. Fuente: propia.

Nº de Muestra	Tiempo (latas/min.)
1	90
2	100
3	104
4	90
5	110

- **Proceso de tapado:** este proceso es realizado automáticamente por la tapadora Canco 400. Los tiempos obtenidos son los mostrados en la tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2. Tiempo de tapado. Fuente: propia.

Nº de Muestra	Tiempo (latas/min.)
1	120
2	120
3	120
4	119
5	119

- **Proceso de extracción de latas:** este proceso se realiza al final de la línea y es llevado a cabo por dos operadores de forma manual. Es necesario acotar que en dicho proceso los trabajadores tenían que esperar a que las latas llegaran, ya que la velocidad con que extraían las latas era mayor que la velocidad del proceso de envasado. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 2.3.



Tabla N° 2.3. Tiempo de extracción de latas. Fuente: propia.

Nº de Muestra	Tiempo (latas/min.)
1	119
2	144
3	153
4	110
5	130

### 2.3. BASES TEÓRICAS [6], [8]

A continuación se presentan algunas definiciones y aspectos que orientan al lector al contexto del trabajo.

**Manejo de materiales.** El movimiento del material desde el sitio de origen hasta el destino puede ser costoso y difícil, pues se puede dañar o extraviar. Por ello es importante transportarlo con cuidado, en forma directa, con el equipo adecuado y bajo control en todo momento. Los principales factores a conocer cuando se diseña dichos sistemas incluyen:

- Forma y presentación del material.
- Características del material.
- Demanda de flujo.
- Posición final en la cual se necesita el mismo.

Ya que el manejo de materiales aumenta los gastos, pero no el valor, se debe reducir el tiempo, la distancia, y el costo que conlleva el manejo del mismo.

**Despaletizadoras.** Son máquinas que realizan de manera automática o semiautomática la transferencia de productos que se encuentran ordenados en paletas de madera para ser dispuestos en un lugar o proceso determinado. Los sistemas de



despaletizado son de importancia vital en una planta de envasado porque es el primer paso de la producción. Estas máquinas son accionadas por servomotores y controladas con un autómata programable (PLC). Poseen distintos sistemas de fijación para trabajar con materiales diferentes, entre los cuales se pueden mencionar ventosas de vacío para transportar cajas o un electroimán para metales, entre otros.

**Transportadores.** Son sistemas relativamente fijos, diseñados para mover materiales. Estos pueden tener la forma de bandas móviles, rodillos operados externamente o por medio de gravedad o los productos utilizados para el flujo de líquidos, gases o material en polvo a presión. Los productos por lo general no interfieren en la producción, ya que se colocan en el interior de las paredes, o debajo del piso o en tendido aéreo.

Los transportadores tienen varias características que afectan sus aplicaciones en la industria. Son independientes de los trabajadores, es decir, se pueden colocar entre máquinas o entre edificios y el material colocado en un extremo llegará al otro sin intervención humana.

**Automatización Industrial.** Se puede definir como el proceso de implantación de sistemas, en los cuales la operación manual es sustituida por un conjunto de elementos, equipos o maquinarias, los cuales realizan la misma función originalmente desempeñada por operadores humanos, reemplazándolos con ventaja.

Por su parte, la automatización industrial puede considerarse como la aplicación de la automatización a los procesos industriales directamente involucrados en la producción de bienes.

**Áreas tecnológicas involucradas en la Automatización Industrial.** La automatización industrial moderna tiene un carácter ampliamente multidisciplinario, lo cual dificulta su aprendizaje y puesta en práctica. Entre las principales áreas



tecnológicas con las que tiene que ver la automatización industrial actual son las siguientes:

- Controladores lógicos programables y sus periféricos asociados: se trata de dispositivos electrónicos relacionados principalmente con la toma de decisiones lógicas dentro del proceso, como encender o apagar una bomba de agua, arrancar o parar una cinta transportadora, etc.
- Controladores de procesos: principalmente aplicables al control continuo de temperaturas, presiones, niveles de fluidos en tanques, etc.
- Sensórica: detectores de las distintas variables que pueden presentarse en un proceso (posición, presión, temperatura, etc.).
- Neumática: la utilización del aire comprimido en las máquinas automatizadas está muy difundida. Sin embargo, la neumática pura ha venido siendo sustituida por la electroneumática, en la cual se emplea la neumática en conjunto con la electricidad y la electrónica.
- Accionamientos electrónicos de motores eléctricos: se refieren al acondicionamiento de la energía eléctrica suministrada a los motores eléctricos de AC y DC, a los fines de que éstos se comporten de la manera deseada. Son muy empleados en las industrias papeleras, textileras, siderúrgicas, etc.

**Realización de la Parte de Comando.** Básicamente, cuando se habla de control electrónico, existen dos tipos de tecnologías para implantar la parte de comando del sistema automatizado:

- Tecnología cableada.
- Tecnología programada.

La primera en surgir fue la cableada, la cual se realizaba mediante elementos como relés electromagnéticos, elementos neumáticos o hidráulicos, compuertas lógicas



electrónicas, etc. Esta tecnología presenta como desventajas que no se adapta muy bien a los sistemas complejos, ni facilita las modificaciones posteriores del diseño original. Además, sus tiempos de desarrollo y puesta en servicio suelen ser muy largos. Hoy en día, su aplicación sólo se justifica en sistemas muy pequeños o en aquellos casos en los cuales se desea desarrollar un controlador dedicado a una aplicación específica, que tenga características de uso masivo. De lo contrario, resulta antieconómica.

Por su parte, la tecnología programada se lleva a cabo mediante la programación de microprocesadores, microcontroladores, computadores o controladores lógicos programables. Su gran ventaja reside en su facilidad de modificación y en el hecho de utilizar elementos estándar, manufacturados en serie y exhaustivamente probados por el fabricante, lo cual les da una gran flexibilidad y confiabilidad. Además, se adaptan muy bien a las modernas redes digitales de comunicación que han invadido las plantas industriales. Todo esto hace que sea la tecnología preferida en la actualidad, dentro de los modernos sistemas flexibles de producción.

**Estructura de los sistemas electroneumáticos.** Al momento de elaborar un sistema electroneumático, es posible realizar su diseño de manera intuitiva o siguiendo una estructura organizada basada en reglas e instrucciones que permitan el desarrollo de forma metódica.

El conjunto de elementos que conforman un circuito electroneumático está ordenado de manera tal que siguen una vía para la transmisión de las señales de mando, desde el lado de la emisión de señales (entrada), hasta el lado de la ejecución del trabajo (salida) (ver figura N° 2.1)

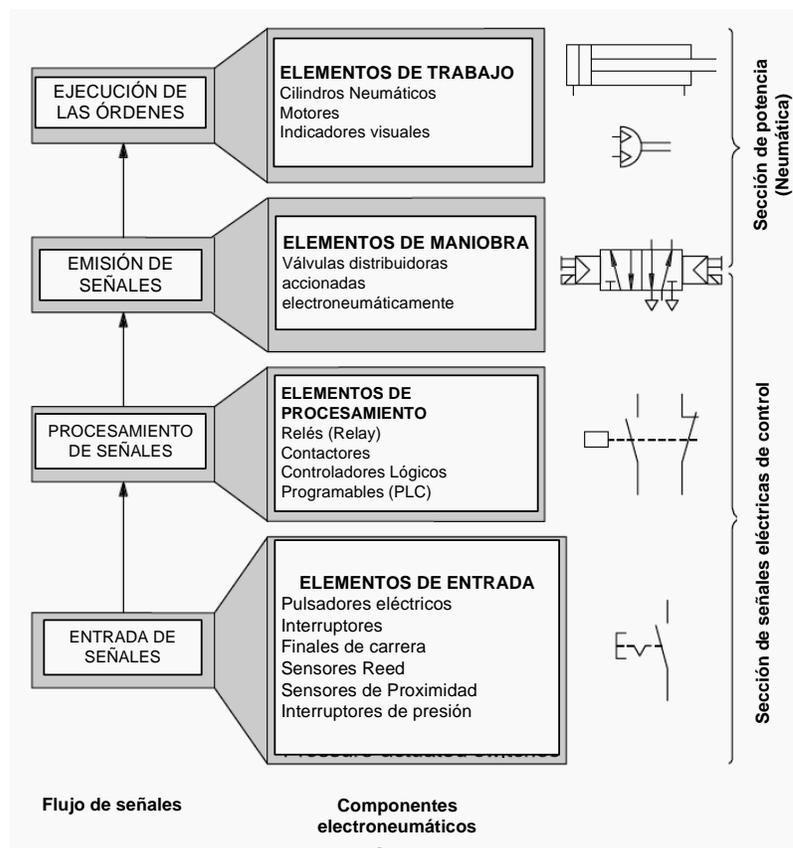


Figura N° 2.1 Estructura del sistema de mando. Fuente: aula virtual, Facultad de ingeniería, UC.

De esta manera es posible agrupar los elementos que componen un sistema electroneumático de acuerdo con la función que realizan en un primer grupo con aquellos elementos que se encargan de captar señales físicas del proceso que deberán ser interpretadas por el sistema, un segundo grupo con aquellos que llevan a cabo funciones de procesamiento y toman las decisiones de control a llevar a cabo, otro tercer grupo conformado por elementos que toman las señales de control y realizan el mando hacia elementos finales o elementos de potencia que se encuentran ubicados en un último y cuarto grupo. Cada grupo se ubica en un nivel, encontrándose el primer grupo en el nivel inferior de la cadena de control y el último grupo en el nivel superior. El funcionamiento de un sistema electroneumático se basa en la ejecución



---

repetida de las tareas en cada grupo mencionado, donde el orden de las acciones sigue un sentido desde el nivel inferior al superior.

**Controlador lógico programable (PLC).** Un controlador lógico programable, es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

El PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Los PLCs están bien adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones).



---

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLOGICO

Este capítulo constituye el nivel de la investigación, la metodología y los aspectos administrativos.

#### **3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.**

En el presente trabajo de investigación se realizará el diseño de un sistema automatizado que realice las tareas de despaletizado y transporte de latas de una línea de envasado de productos en una empresa de alimentos. Para ello se establecerá una serie de parámetros que definirán la solución más conveniente que resuelva el problema especificado. Por esta razón, el nivel de la investigación es descriptivo.

#### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La estrategia para lograr los objetivos planteados en la investigación, consiste en:

1. Estudiar la línea de enlatados (paralela) con el fin de determinar las especificaciones de los equipos instalados así como también, su capacidad.
2. Identificar las variables que intervienen en el proceso despaletizado.
3. Recabar información de los equipos para despaletizado y transporte usados en la actualidad.
4. Establecer la ubicación óptima del dispositivo de manera de conocer el espacio disponible para el diseño.
5. Diseñar el sistema automatizado de despaletizado y transporte de latas.
6. Realizar el levantamiento detallado de planos del sistema diseñado.
7. Realizar el estudio de la factibilidad económica y rentabilidad del proyecto.



### 3.3. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

**Recursos Humanos:** Comprende el tutor académico, tutor industrial, y profesores en el área; así como también, proveedores y personal técnico del área de producción y mantenimiento de la empresa.

**Recursos Institucionales:**

Biblioteca Rental de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Pérez Silva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

**Recursos Materiales:** Textos en el área de Automatización e Instrumentación Industrial, catálogos técnicos de Autómatas Programables y de Elementos Neumáticos, planos, computador y materiales de oficina en general.

## CAPÍTULO IV DESARROLLO

Este capítulo presenta el diseño del sistema automatizado de despaletizado y transporte de latas, seguidamente el desarrollo secuencial de las etapas del sistema automatizado, así como el diagrama de potencia y fuerza del sistema. Finalmente, se listan un conjunto de señales de entradas y salidas digitales involucradas en el sistema diseñado y el direccionamiento de las mismas, la cuales serán controladas por un Controlador Lógico Programable (PLC).

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE DESPALETIZADO Y TRANSPORTE DE LATAS PROPUESTO

El proceso estará compuesto de dos partes: la primera, corresponde a la alimentación de paletas (dimensión 1,42 m x 1,09 m) por parte de un montacarguista al sistema de despaletizado y transporte y la segunda, al proceso en sí de despaletizado y transporte de las latas a la línea de producción (llenado y envasado de las latas). Paralelamente al proceso de transporte de latas ocurre la acumulación de cartones y paletas vacías generadas por el proceso de despaletizado. El diagrama N° 4.1 muestra las etapas del sistema diseñado.

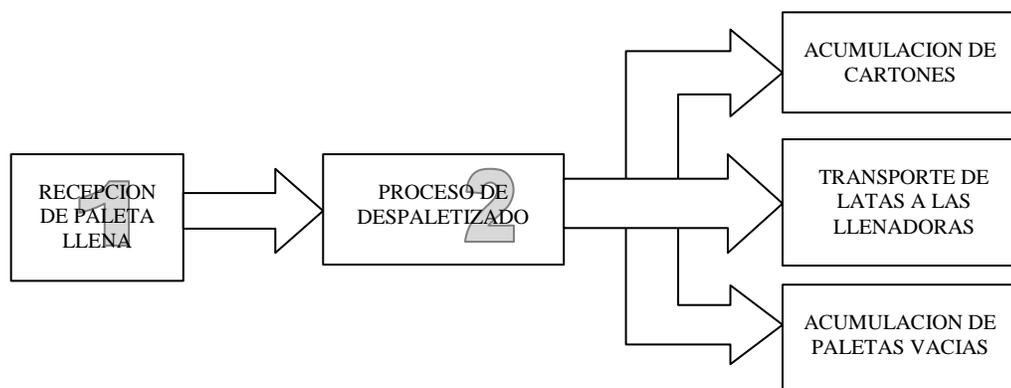


Figura N°4.1. Etapas del sistema automatizado de despaletizado y transporte de latas.

El sistema de despaletizado y transporte de latas está constituido por fundamentalmente por los siguientes elementos:

**Sistema de transporte de paletas:** formado por dos transportadores de rodillos motorizados (ver figura N° 4.2), los cuales permitirán el recorrido de la paleta a lo largo del sistema. El transportador N°1 servirá de receptor de la paleta llena y es donde ocurrirá el despaletizado, el mismo será impulsado por un motor (M1). El transportador N°2 será impulsado por otro motor (M3), este recibirá la paleta vacía luego del proceso de despaletizado para su acumulación.

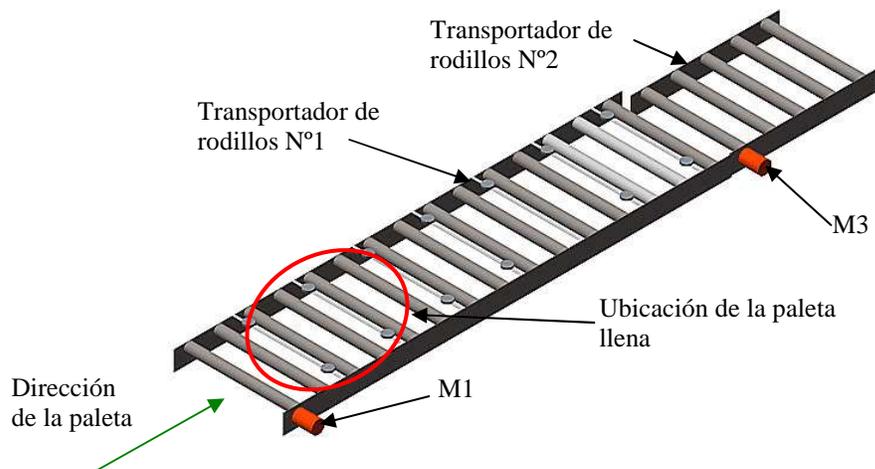


Figura N° 4.2. Transportadores de rodillos.

**Estructura de soporte:** el sistema cuenta también con un arreglo formado por cuatro tubos estructurales cuadrados (ver figura N° 4.3). Estos se encuentran sobre el transportador N°1 y servirán de soporte para los componentes del sistema.

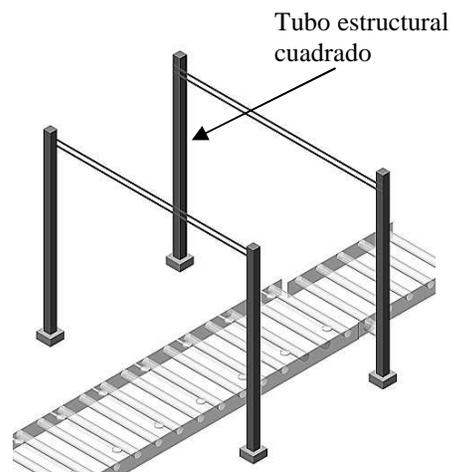


Figura N° 4.3. Estructura de soporte del sistema.

**Sistema de transporte de latas:** la banda transportadora recibirá las latas vacías y las transportará hacia la línea de producción. Será impulsado por un motor (M2). (Ver figura N° 4.4).

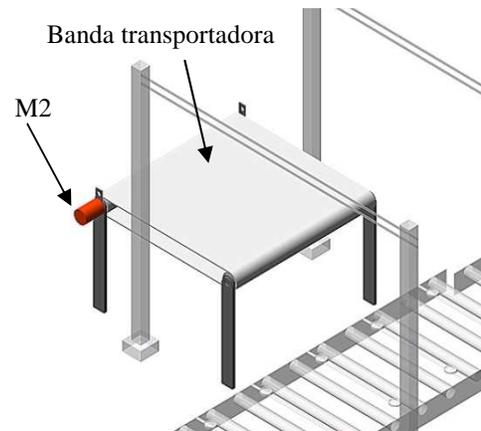


Figura N° 4.4. Banda transportadora de recepción de latas vacías.

**Sistema acumulador de paletas:** en la figura N° 4.5 se observa el acumulador de paletas que se encuentra ubicado sobre el transportador de rodillos N°2 (ver figura N° 4.2). Este está conformado por dos motores identificados como M4 y M5. En cada uno de estos motores se encuentra acoplado un eje que se extiende a lo largo del transportador de rodillos N°2, el cual posee a su vez, tres brazos que permitirán la elevación y acumulación de paletas vacías.

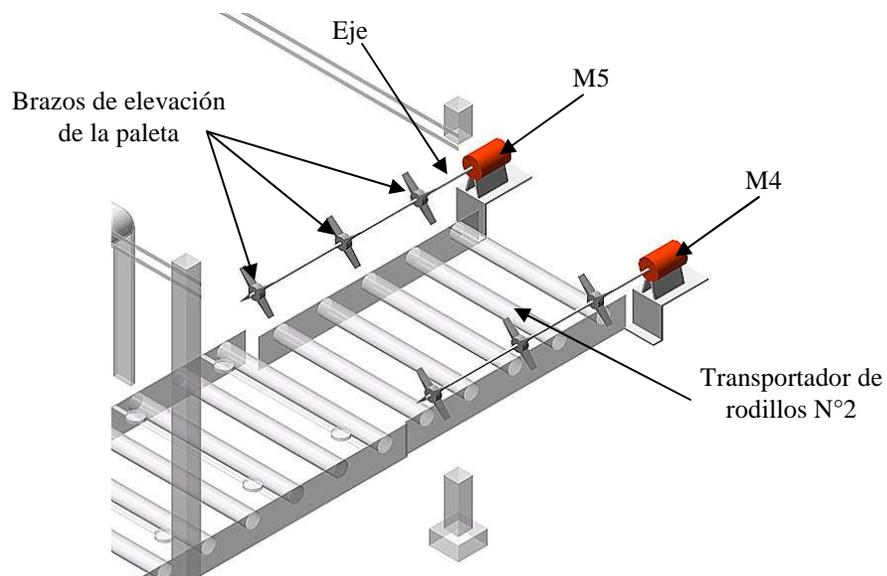
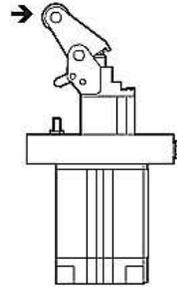
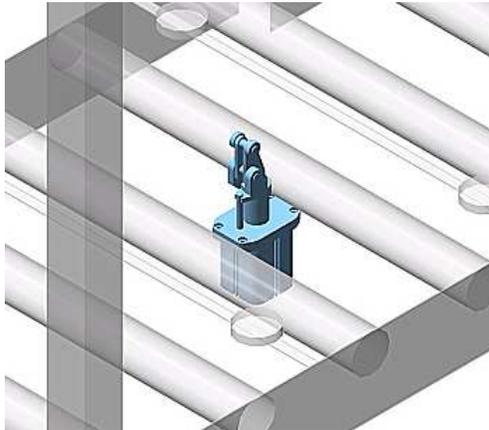


Figura N° 4.5. Componentes del acumulador de paletas.

**Actuadores:** la figura N° 4.6 muestra al actuador de simple efecto 1.0, el cual se encuentra ubicado al final del transportador de rodillos N°1. El actuador 1.0 se encargará de detener a la paleta en el lugar donde se realizará el despaletizado.



Posición a la cual será colocado el actuador 1.0. La flecha indica el sentido en que la paleta realizará la fuerza sobre el mismo.

Figura N° 4.6. Actuador 1.0 ubicado verticalmente al final del transportador N°1.

La figura N° 4.7 muestra el cabezal magnético el cual es el encargado de la movilización de las latas, junto a este se encuentran dos actuadores neumáticos de doble efecto identificados como 2.0 y 3.0. El actuador 2.0 se encargará de realizar el movimiento vertical del cabezal magnético. El actuador 3.0 es propio del cabezal magnético y permitirá el funcionamiento del mismo. El enlace entre el cabezal magnético y el actuador 2.0 se realiza mediante una estructura metálica formada por cuatro ángulos.

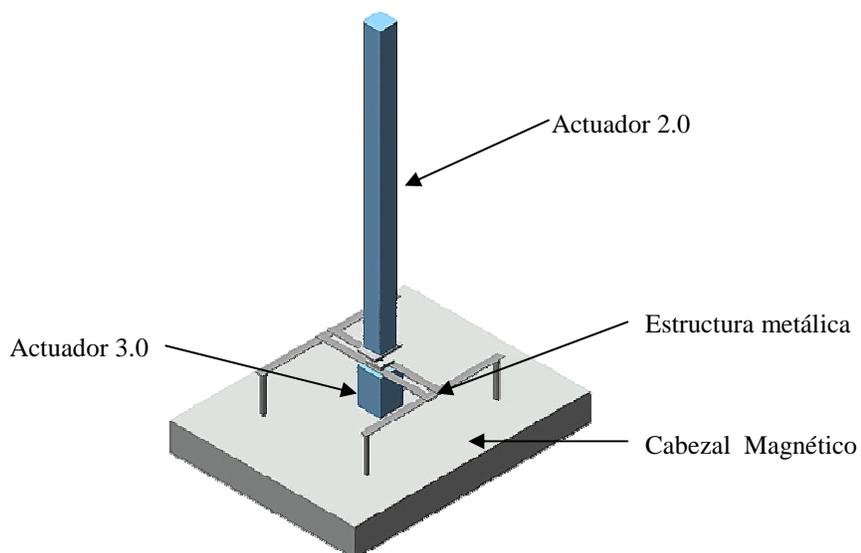


Figura N° 4.7. Componentes encargados de la extracción de latas.

Para la extracción de los cartones se cuenta con un conjunto formado por un actuador neumático de doble efecto identificado como 4.0 el cual proporcionará el movimiento vertical a un conjunto de seis ventosas identificadas como 7.0, las cuales tomarán al cartón separador de latas. La unión entre 4.0 y 7.0 estará conformado por una estructura de pletinas (ver figura N° 4.8).

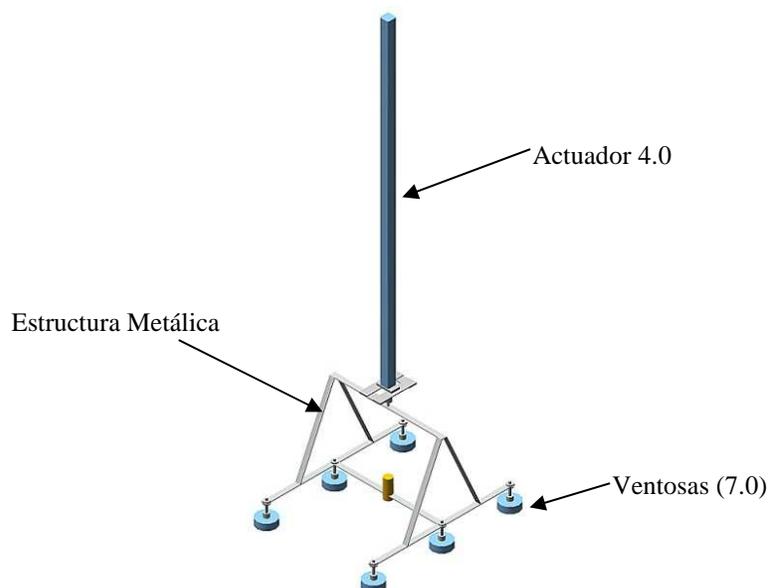


Figura N° 4.8. Conjunto de aspiración para la extracción de cartones.

El conjunto de despaletizado culmina con la incorporación de dos actuadores lineales sin vástago identificados como 5.0 y 6.0. Estos permitirán el movimiento horizontal del sistema despaletizador. Para el enlace del sistema despaletizador se diseñó una base formada por cuatro ángulos de la cual se sujetan los actuadores 2.0, 4.0, 5.0 y 6.9 (ver figura N° 4.9).

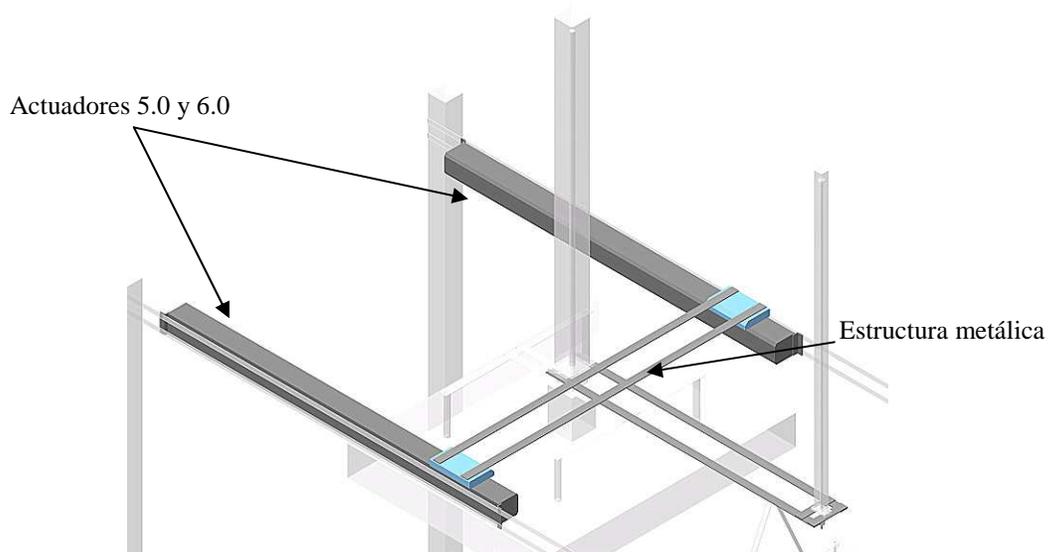


Figura N° 4.9. Actuadores sin vástago.

Por último, la figura N° 4.10 muestra el conjunto armado así como los sensores seleccionados para la ejecución del sistema, compuestos por nueve sensores magnéticos identificados como B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 y B9 colocados sobre los actuadores neumáticos, que se encargarán de detectar las posiciones de éstos; un pulsador sin retención (S1) y otro con retención (S4), que darán la señal de arranque y parada del sistema respectivamente; dos microinterruptores eléctricos identificados como S2 y S3; tres sensores de proximidad inductivos identificados como B10, B11 y B14; dos sensores optoelectrónicos identificados como B12 y B13; un grupo de ventosas identificadas como 7.0, que permitirán la sujeción de los cartones y un cabezal magnético (CM) que será el encargado de tomar las latas.

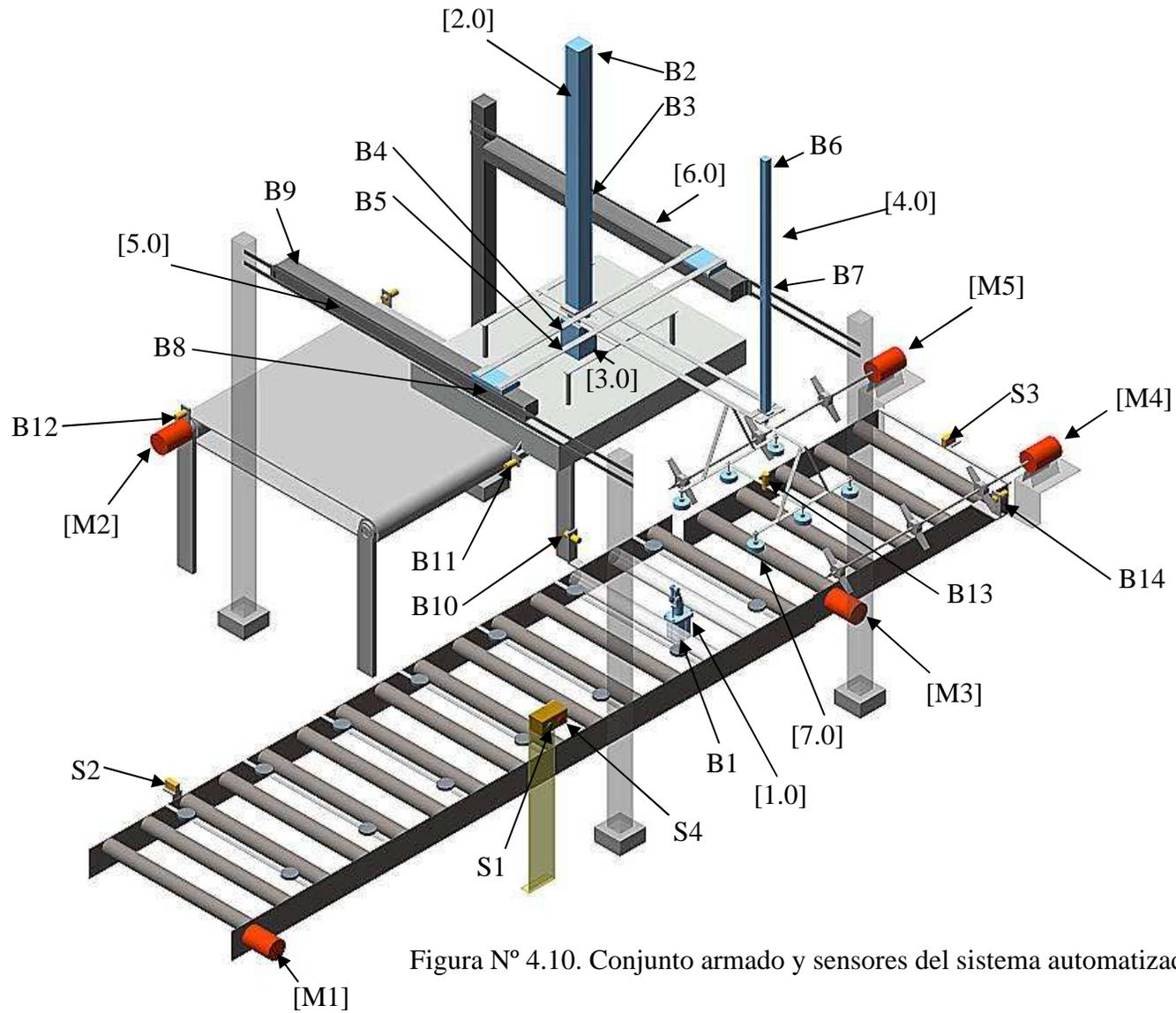


Figura N° 4.10. Conjunto armado y sensores del sistema automatizado.





---

## 4.2. DIAGRAMA DE POTENCIA PARA EL SISTEMA DISEÑADO

En la figura N° 4.11 se muestra el diagrama de potencia del sistema de despaletizado y de sus componentes. A continuación se describen cada uno de estos:

El actuador de simple efecto 1.0 es el encargado de asegurar el posicionamiento de la paleta en la zona de despaletizado. Los actuadores de doble efecto identificados como 2.0 y 4.0 se encargan de sujetar el cabezal magnético y al grupo de ventosas respectivamente, así como también permitir el ascenso y descenso de los mismos con el fin de realizar la extracción de las latas y de cartones de la paleta.

El actuador de doble efecto 3.0 está integrado al cabezal magnético y es el encargado de magnetizar o no la parte inferior del mismo (ver anexo N° 1). Los actuadores sin vástago, identificados como 5.0 y 6.0 permitirán el movimiento longitudinal del cabezal y del grupo de ventosas, permitiendo colocar las latas en la banda transportadora para su movimiento hacia la línea de producción y a los cartones en el lugar donde serán acumulados.

Un grupo de ventosas identificadas como 7.0 se encargarán de sujetar los cartones separadores de latas, este grupo de ventosas será gobernado por un generador de vacío electroneumático con vacuostato integrado identificado como 7.1.

Por último se cuenta con seis electroválvulas que gobiernan la extensión y retracción de los actuadores; nueve sensores magnéticos colocados sobre los actuadores y seis válvulas reguladoras de caudal, que permitirán modificar la velocidad de extensión y retracción de los actuadores.



De igual manera, en la figura N° 4.12, se muestra el diagrama de fuerzas del sistema, el cual está compuesto por 5 motores trifásicos con sus respectivos contactores y protecciones.

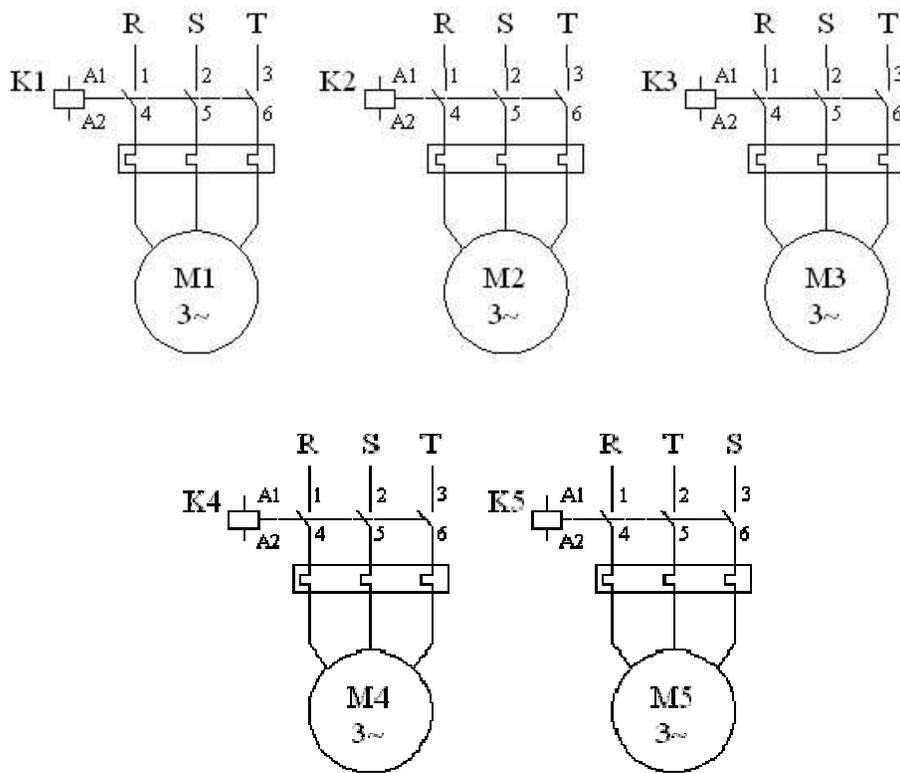


Figura N° 4.12. Diagrama de fuerza.

### 4.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA DE DESPALETIZADO DE LATAS

El proceso se inicia cuando es colocada la paleta en la transportadora M1. La paleta accionará el microinterruptor S2 el cual garantizará el correcto posicionamiento de la misma (ver figura N° 4.13). Una vez colocada la paleta, el operador procede a retirar el plástico que protege a las latas y luego, oprimirá el pulsador S1 dando la señal de arranque al sistema de despaletizado y transporte, permitiendo que la paleta se desplace por medio del transportador M1.

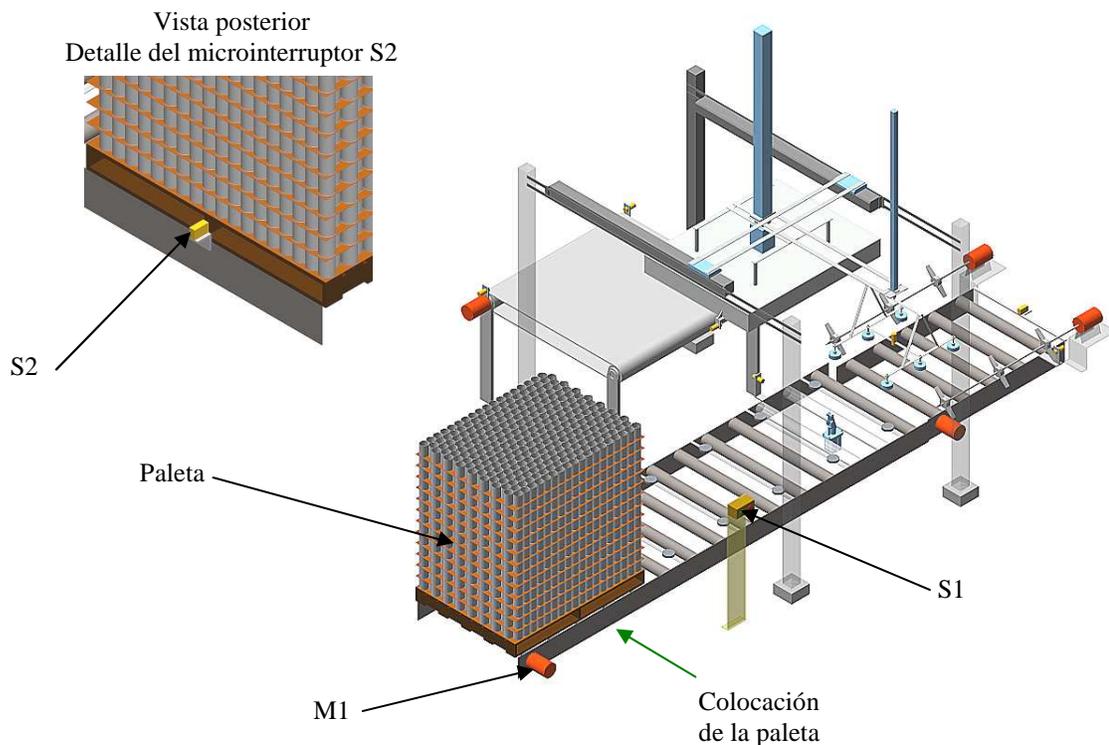


Figura N° 4.13. Colocación de la paleta en el sistema.

La paleta se desplazará hasta ubicarse debajo del cabezal magnético (ver figura N° 4.14). Al ubicarse la paleta en esta posición será detectada por el sensor inductivo B10, el cual detecta la última camada de latas. Este enviará una señal eléctrica para

detener al transportador M1. De la misma manera, el actuador de simple efecto 1.0 evitará el avance de la paleta para así garantizar el posicionamiento de la misma justo debajo del cabezal.

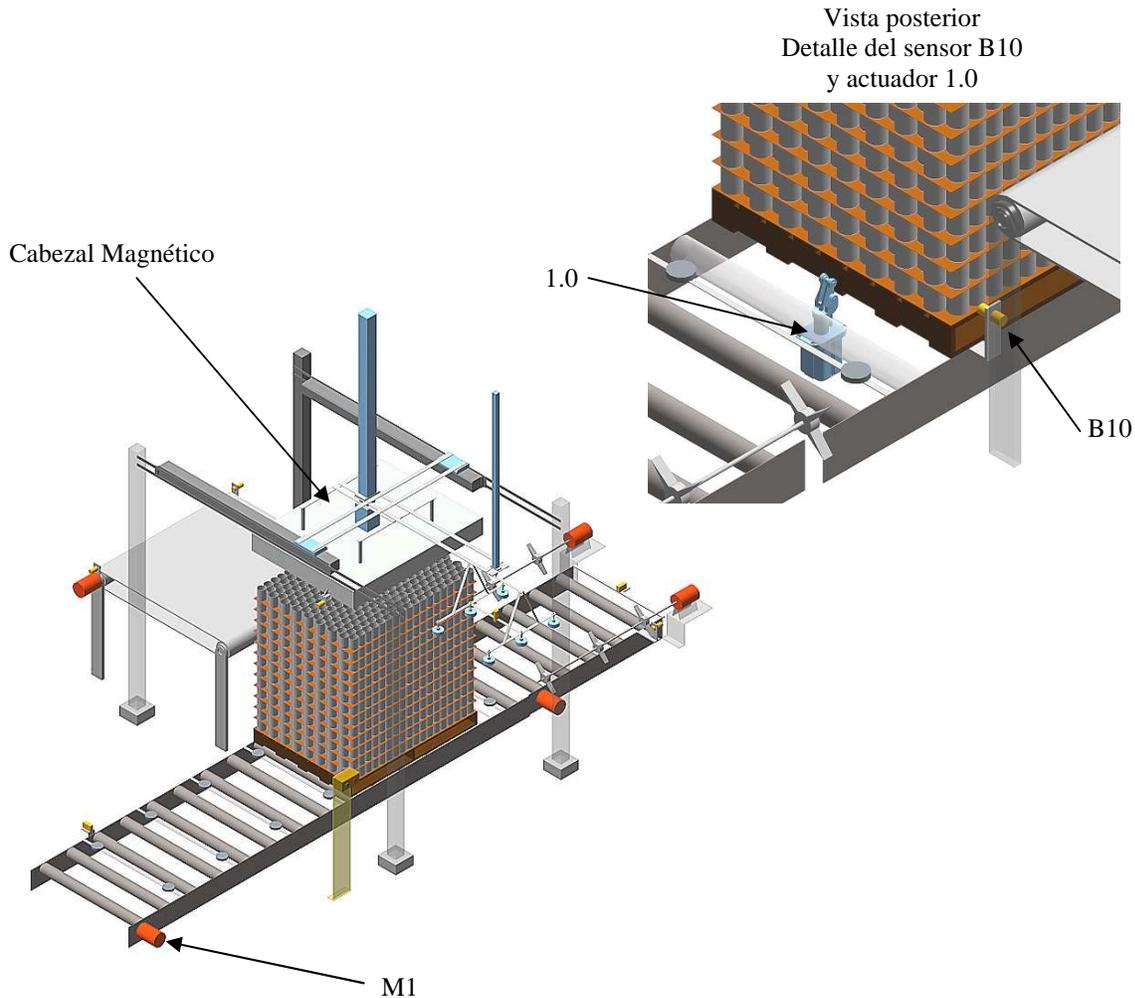


Figura N° 4.14. Detención de la paleta en el área del despaletizado.

Una vez la paleta en posición, el sensor inductivo B10 la detectará y el sistema energizará al solenoide Y2 que ocasionará que conmute la electroválvula 2.1, para que se extienda el vástago del actuador 2.0 (ver figura N° 4.15 (A)). Al extenderse el vástago de 2.0 el sensor inductivo B11 es activado al aproximarse a las latas y se desenergiza el solenoide Y2, ocasionando que la electroválvula 2.1 retorne a su

posición intermedia y que el vástago del actuador 2.0 se detenga próximo a las latas (ver figura N° 4.15 (B)). Simultáneamente, con la activación del sensor B11 se energiza al solenoide Y4, permitiendo que la electroválvula 3.1 conmute y extienda el vástago del actuador 3.0, produciendo la atracción de las latas al cabezal (ver figura N° 4.15 (C)).

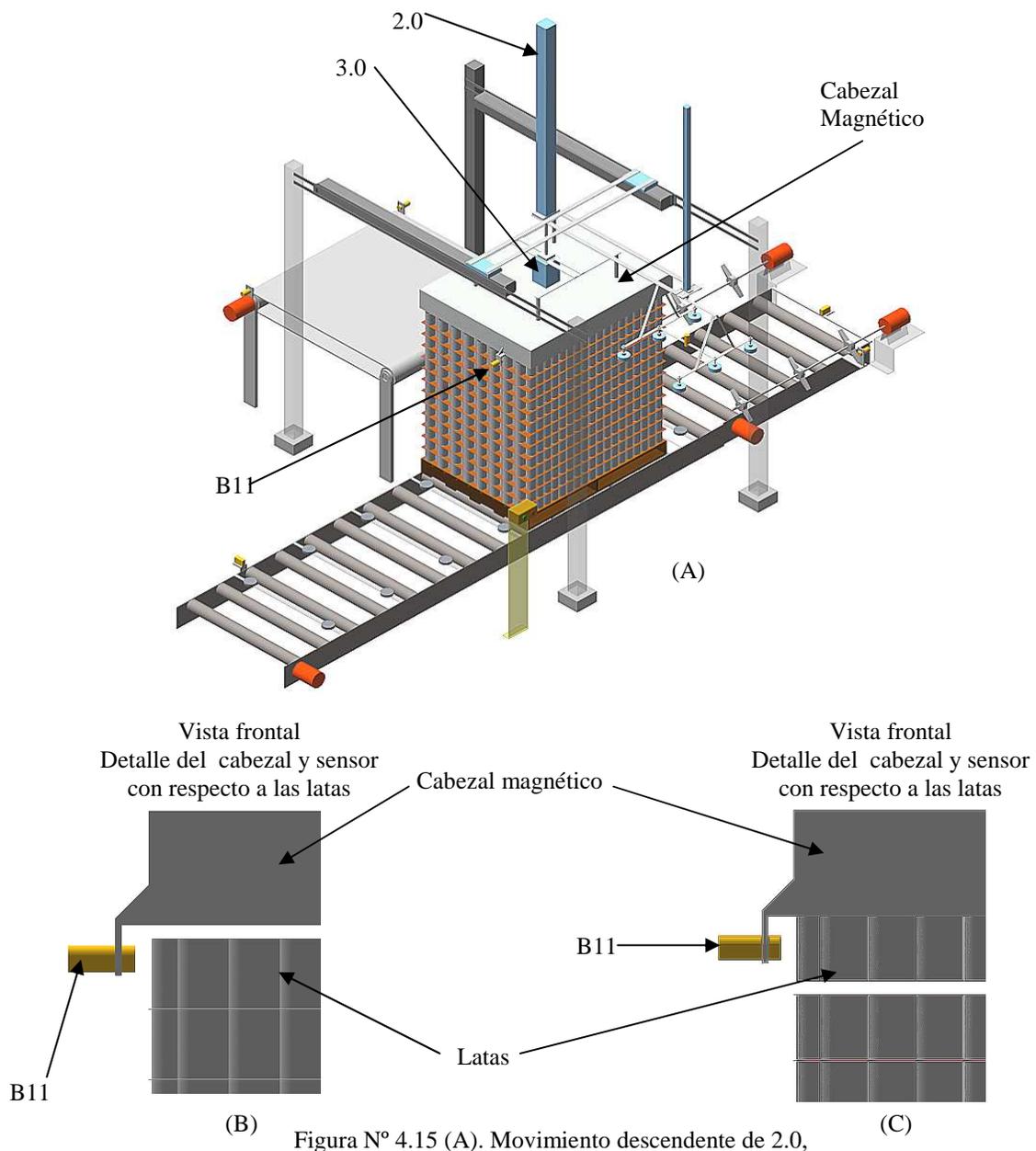


Figura N° 4.15 (A). Movimiento descendente de 2.0,

(B) Activación del sensor B11 y (C) Atracción de las latas al cabezal.

Al extenderse el vástago del actuador 3.0 es activado el sensor magnético identificado como B5 y se energizará el solenoide Y3 haciendo que la electroválvula 2.1 conmute y se retraiga el vástago del actuador 2.0 (ver figura N° 4.16), haciendo que el sensor magnético B2 sea activado y se desenergice el solenoide Y3, permitiendo que la electroválvula 2.1 conmute a su posición central y el actuador 2.0 se detenga.

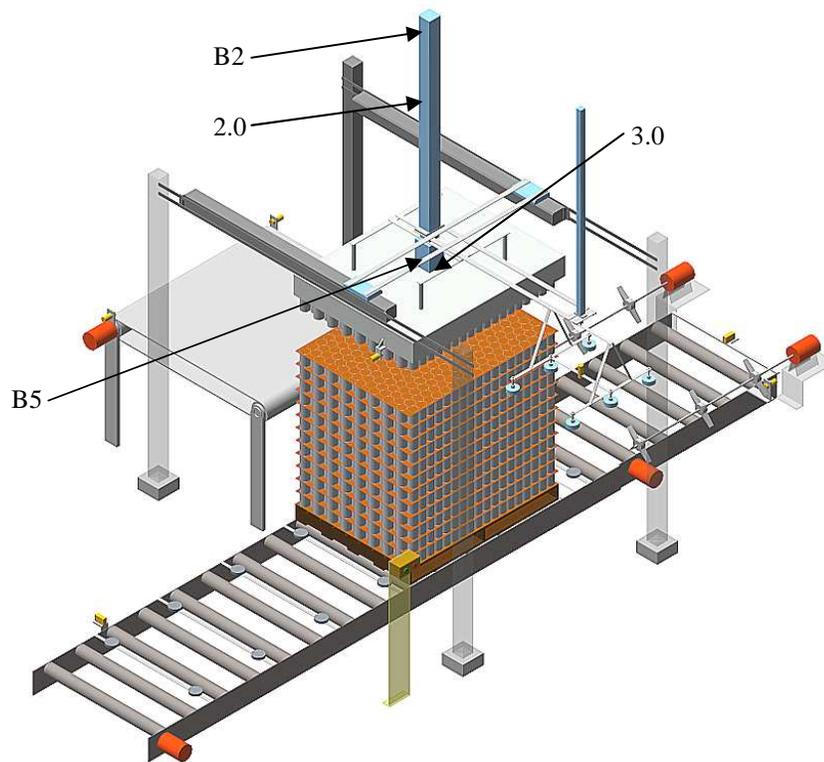


Figura N° 4.16. Movimiento ascendente del actuador 2.0, se observa como las latas suben junto al cabezal

De la misma manera, con la señal del sensor B2 se activa el solenoide Y9 de la electroválvula 5.1/6.1, permitiendo la extensión de 5.0 y 6.0, que desplazarán al cabezal magnético con las latas, hasta que se ubiquen sobre el transportador M3 (ver figura N° 4.17). En esta posición, es activado el sensor magnético ubicado en el

actuador 5.0 e identificado como B9.

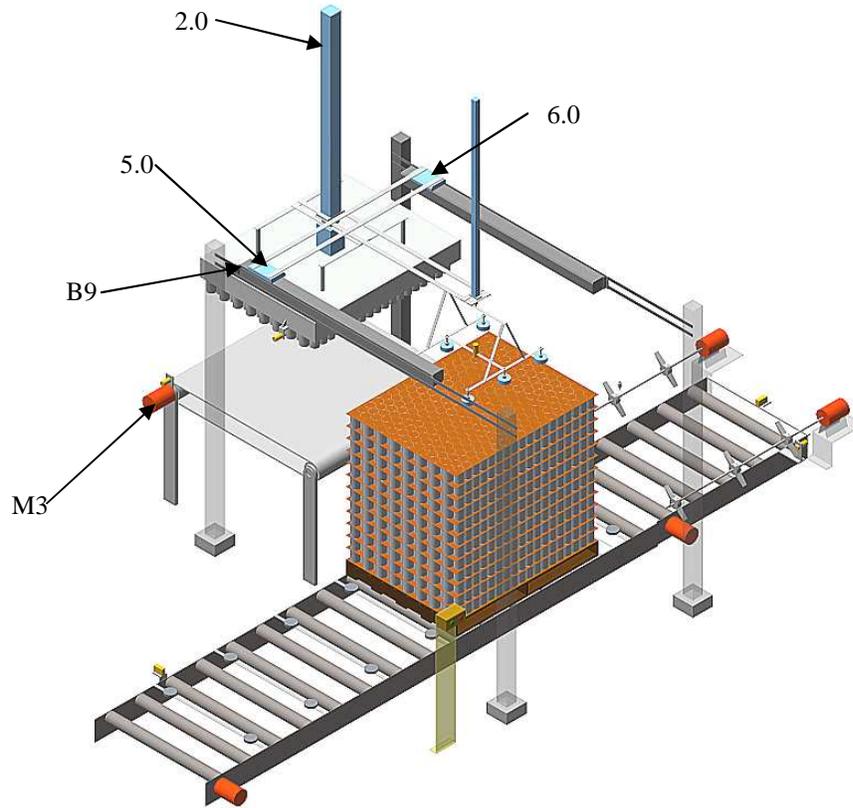


Figura N° 4.17. Movimiento de los actuadores 5.0 y 6.0.

Al activarse el sensor magnético B9, se energiza al solenoide Y2 y conmuta la electroválvula 2.1, permitiendo la extensión del vástago del actuador 2.0 (ver figura N° 4.18 (A)), hasta ser detectado por el sensor magnético B3 ubicado en el cuerpo de dicho actuador y se interrumpirá la señal eléctrica ejercida sobre el solenoide Y2, permitiendo que la electroválvula 2.1 vaya a su posición central, deteniendo al actuador 2.0 próximo al transportador M3 (ver figura N° 4.18 (B)).

Simultáneamente, con la activación de B9 se activa el solenoide Y6 que hace conmutar a la electroválvula 4.1 y permite la extensión del vástago del actuador 4.0 (ver figura N° 4.18 (A)), hasta que el sensor optoelectrónico de reflexión directa, ubicado junto al conjunto de ventosas 7.0 e identificado como B13, detecta la

cercanía de la lámina de cartón y le indica al sistema que desenergice al solenoide Y6, conmutando la electroválvula 4.1 a su posición central, y ocasionando la detención del actuador 4.0 sobre la lamina de cartón (ver figura N° 4.18 (C)).

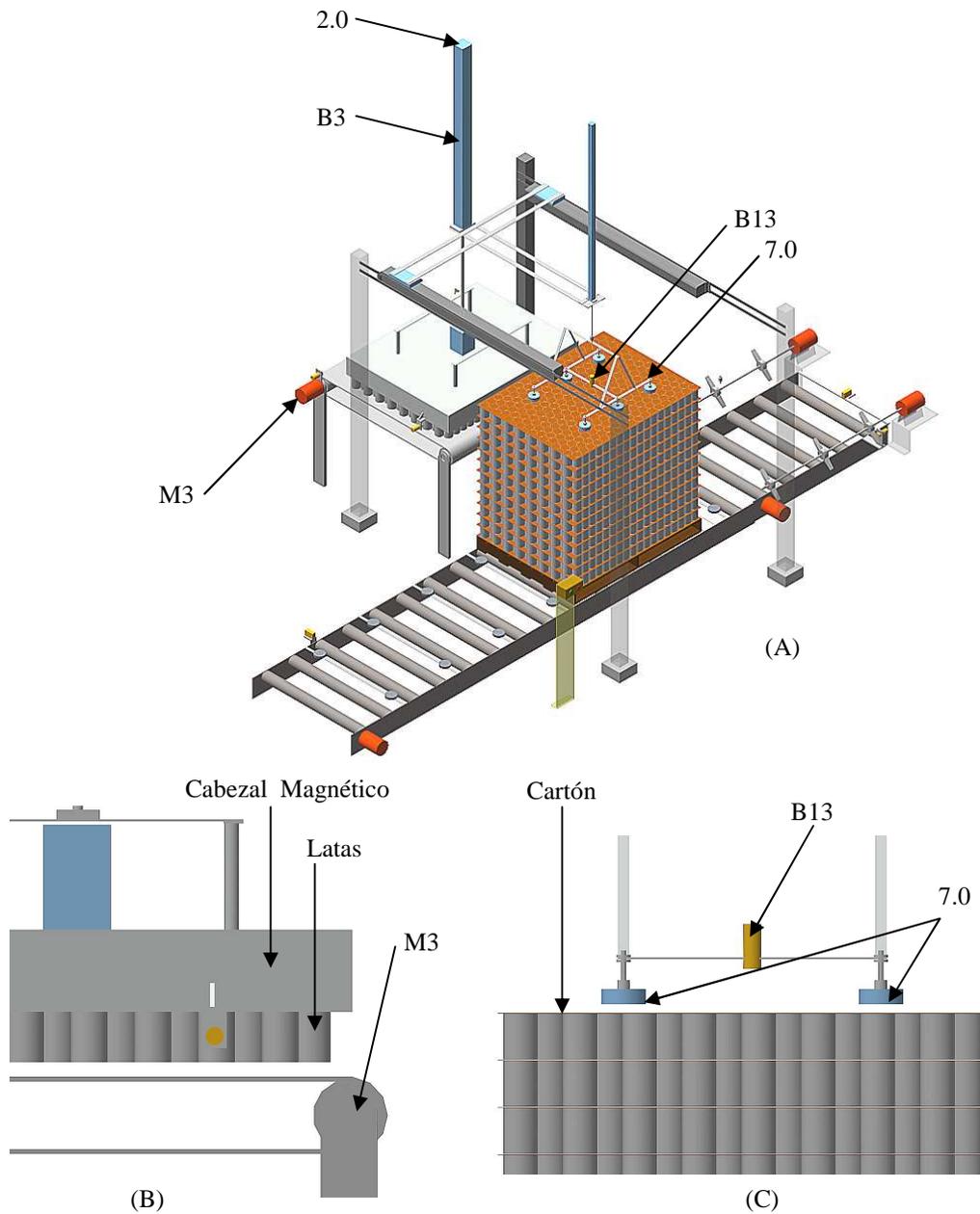


Figura N° 4.18 (A) Movimiento descendente de los actuadores 2.0 y 4.0,

(B) Posicionamiento de las latas sobre el transportador M3 y (C) Activación del sensor B13.

Una vez activado el sensor magnético B3, se activa el solenoide Y5, haciendo conmutar la electroválvula 3.1, ocasionando la retracción del actuador 3.0 y haciendo que el sensor magnético B4 se active permitiendo que las latas se despeguen del cabezal magnético y desciendan hasta el transportador M3 (ver figura N° 4.19 (A)). Simultáneamente, al activarse el sensor B13, es enviada una señal al solenoide Y10, activando el generador de vacío 7.1 para tomar la lámina de cartón (ver figura N° 4.19 (B)).

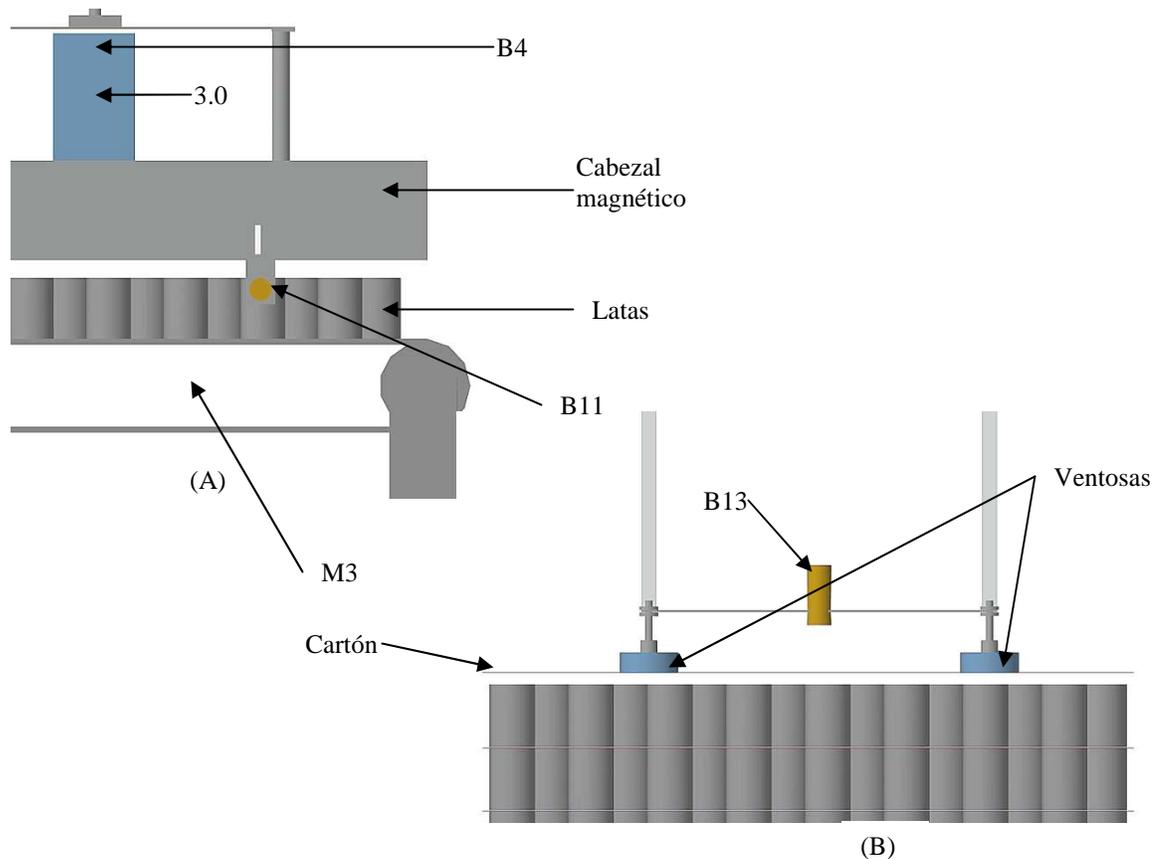


Figura N° 4.19. (A) Movimiento descendente de las latas sobre el transportador M3 y (B) Movimiento ascendente del cartón debido a la succión de las ventosas.

Al activarse B4 se enciende la banda transportadora M3 que movilizará a las latas

hasta la línea de producción. Las latas, al posicionarse sobre la banda transportadora M3 activan al sensor inductivo B12 el cual no permite el descenso del actuador 2.0 en una posterior descarga de latas a M3. De igual manera, B4 envía una señal al solenoide Y3 haciendo conmutar la electroválvula 2.1 que permite el ascenso del actuador 2.0 (ver figura N° 4.20). Con el actuador 2.0 retraído, el sensor magnético B2 es activado y se desactiva el solenoide Y3 permitiendo el retorno de la electroválvula 2.1 a su posición central.

Simultáneamente, el agarre del cartón debido a la acción de las ventosas genera una señal eléctrica producida por el vacuostato B15 perteneciente a 7.1. Esta señal eléctrica le indica al sistema que energice al solenoide Y7 haciendo conmutar la electroválvula 4.1 y ocasiona la retracción del actuador 4.0 (ver figura N° 4.20), hasta que el sensor magnético B6 es activado y se envía una señal eléctrica al solenoide Y7 conmutando la electroválvula 4.1 a su posición central deteniéndose el actuador 4.0.

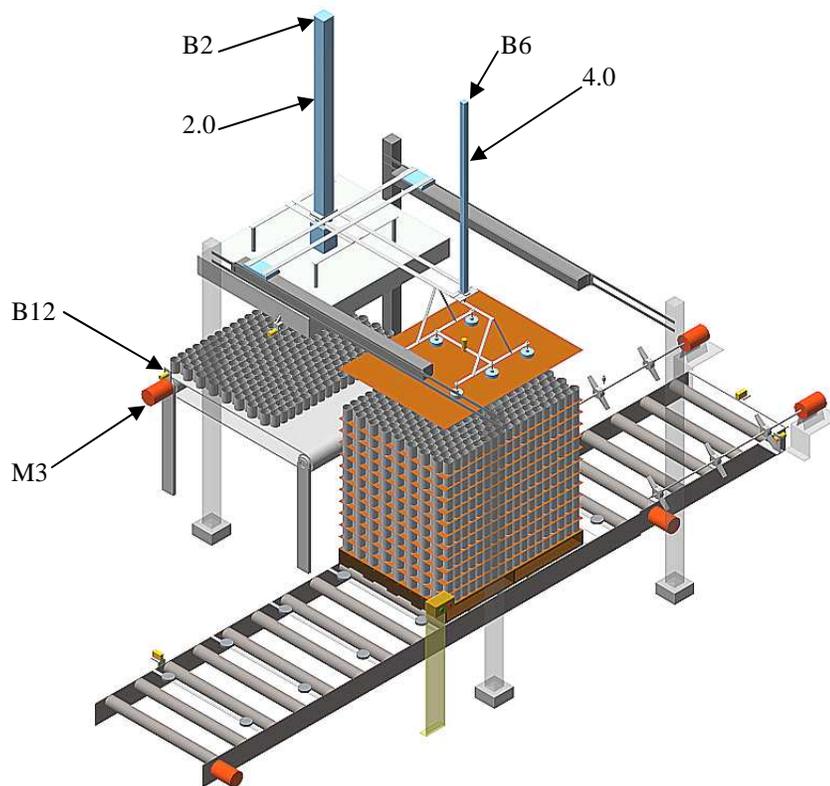


Figura N° 4.20. Movimiento ascendente de 2.0 y 4.0.

Al activarse B2 y B6 (2.0 y 4.0 retraídos) es enviada una señal al solenoide Y9 de la electroválvula 5.1/6.1 permitiendo que los actuadores 5.0 y 6.0 se retraigan, ocasionando que el cabezal magnético se sitúe nuevamente sobre la paleta (ver figura N° 4.21). En esta posición es activado el sensor magnético B8 ubicado al final de la carrera del actuador 5.0.

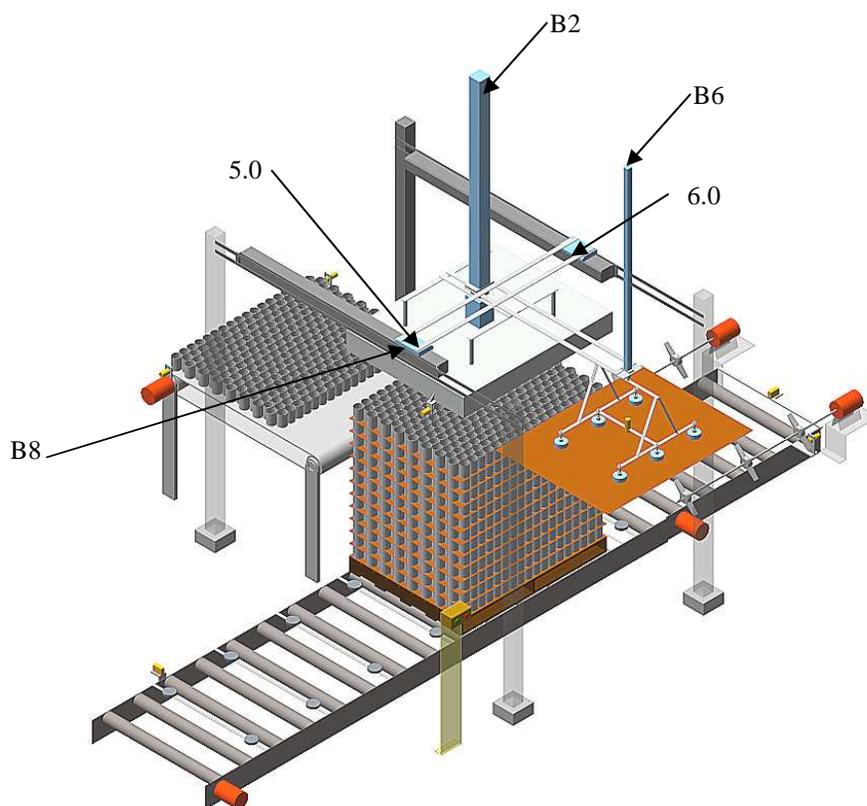


Figura N° 4.21. Retorno de los actuadores 5.0 y 6.0.

Al activarse el sensor magnético B8 se extienden los actuadores 2.0 y 4.0 simultáneamente (ver figura N° 4.22). El primero se extiende debido a que se energiza el solenoide Y2 que conmuta la electroválvula 2.1. Al extenderse el vástago de 2.0 el sensor inductivo B11 es activado y se desenergiza al solenoide Y2 haciendo que la electroválvula 2.1 conmute posición intermedia y el actuador 2.0 se detenga. Posteriormente el sensor B11 al activarse envía una señal eléctrica para que el sistema

energice al solenoide Y4 y conmute la electroválvula 3.1, que permite la extensión del vástago del actuador 3.0, la atracción de las latas al cabezal magnético y la activación del sensor magnético B5.

Paralelamente al movimiento del actuador 2.0, el actuador 4.0 se extiende al energizar el solenoide Y6 que conmuta la electroválvula 4.1. Durante el proceso de extensión de 4.0, el sensor magnético B7 instalado sobre 4.0 detectará la posición del vástago y se desenergizará el solenoide Y6 haciendo que la electroválvula 4.1 conmute a su posición central, donde el actuador 4.0 se detendrá.

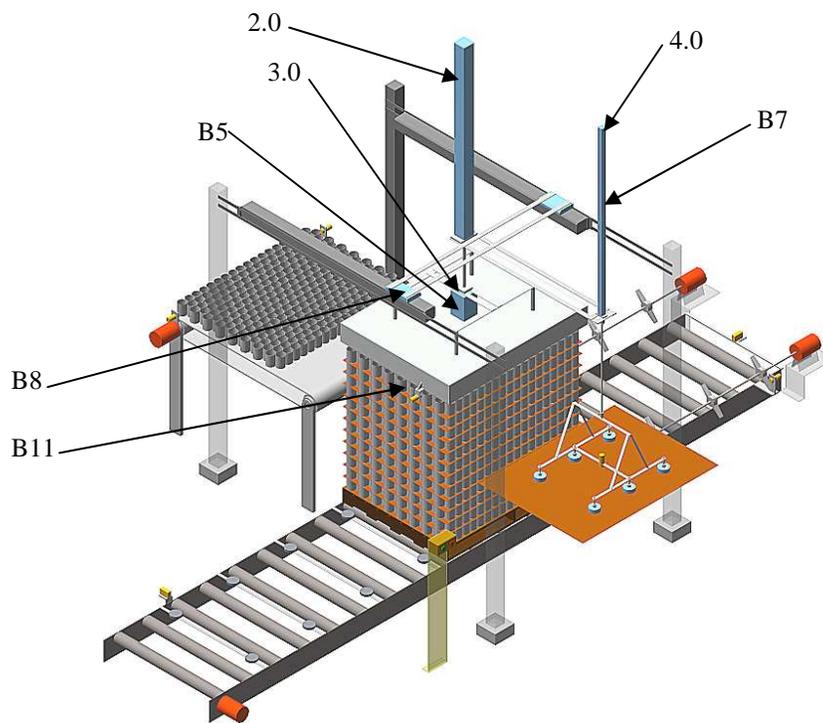


Figura N° 4.22. Descenso de los actuadores 2.0 y 4.0.

De la misma manera, el sensor B7 se activará y se desactivará al generador de vacío 7.1 lo que ocasionará la caída del cartón sujetado por el grupo de ventosas; cuando se pierde el vacío, por medio del vacuostato B15 el controlador energizará al

solenoides Y7 conmutando la electroválvula 4.1, haciendo que el vástago de 4.0 se retraiga hasta que es detectado por el sensor magnético B6 (ver figura N° 4.23). Paralelamente el actuador 2.0 (que ya ha tomado las latas a través del cabezal magnético), se retrae hasta ser detectado por el sensor B2.

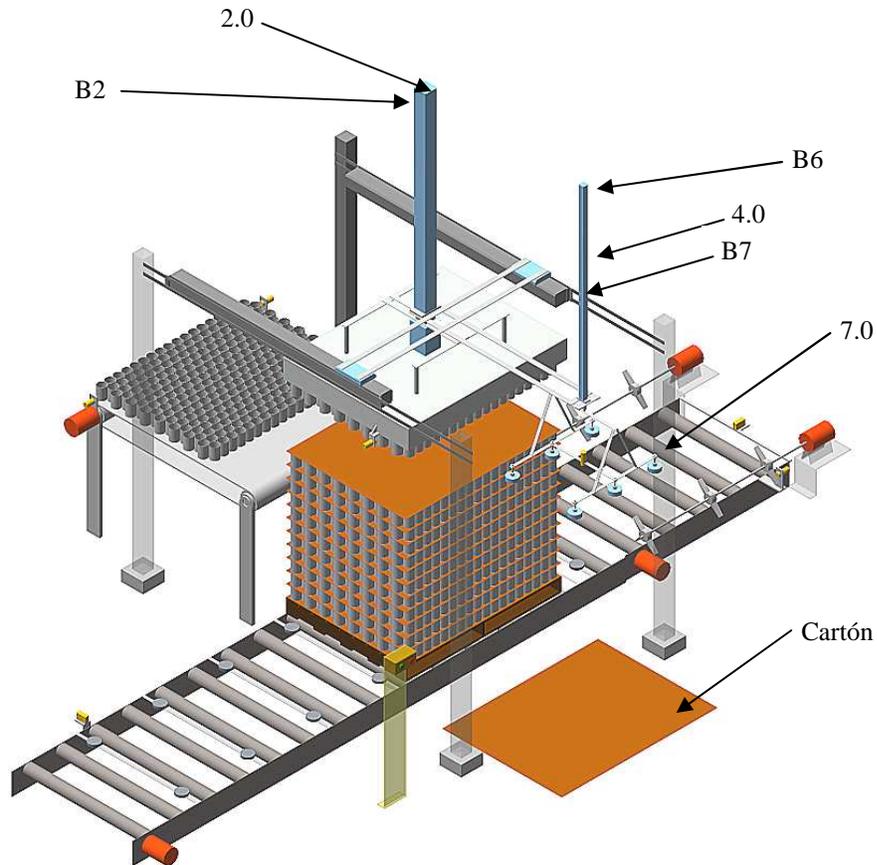


Figura N° 4.23. Ascenso del actuador 2.0 y 4.0.

En este punto, el sistema realizará cíclicamente los movimientos de extracción de latas y cartones hasta que se retire la última capa de latas de la paleta la cual desactivará al sensor inductivo B10 (ver figura N° 4.24).

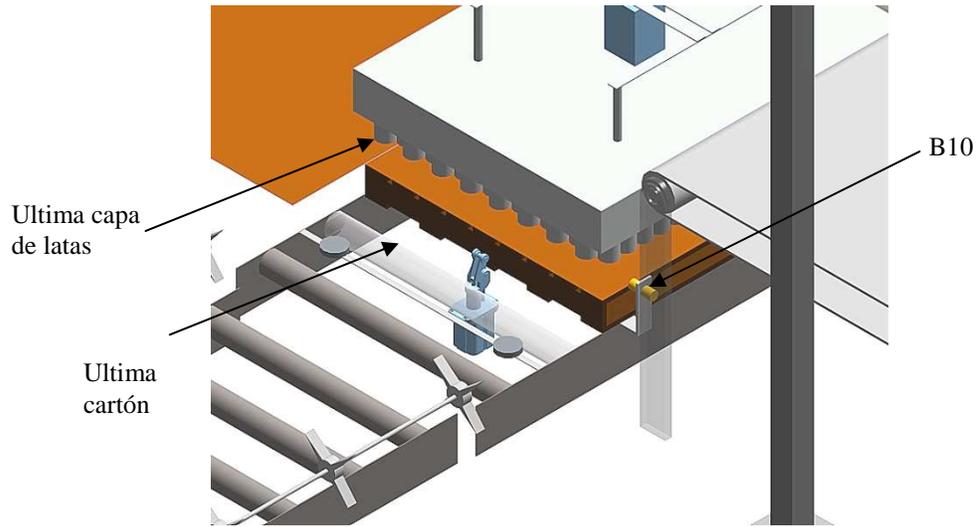


Figura N° 4.24. Extracción de la última capa de latas, desactivación de B10.

La desactivación de B10 indica, que no quedan latas en la paleta y que falta por retirar la última lámina de cartón. Para esto se llevan a cabo los movimientos antes mencionados para llevar las latas hasta la transportadora M3 y retirar la lámina de cartón de la paleta. En la figura N° 4.25 (A) se puede observar el inicio del último movimiento que corresponde al momento en que el sensor B8 se activa para que luego se extienda el vástago del actuador 4.0. La extensión de dicho vástago se va a llevar a cabo hasta que es detectado por el sensor B7, el cual es el encargado de indicar la posición de 4.0 para que este se detenga y desactivar el sistema generador de vacío 7.1, para que las ventosas suelten el cartón (ver figura 4.25 (B)). Al perderse el vacío en las ventosas, B15 envía una señal para que el actuador 4.0 se retraiga hasta su posición inicial.

Una vez terminado el proceso de despaletizado, el sistema queda en espera de una nueva paleta y de una nueva señal de arranque, la cual repetirá el proceso nuevamente (ver figura N° 4.23 (C)).

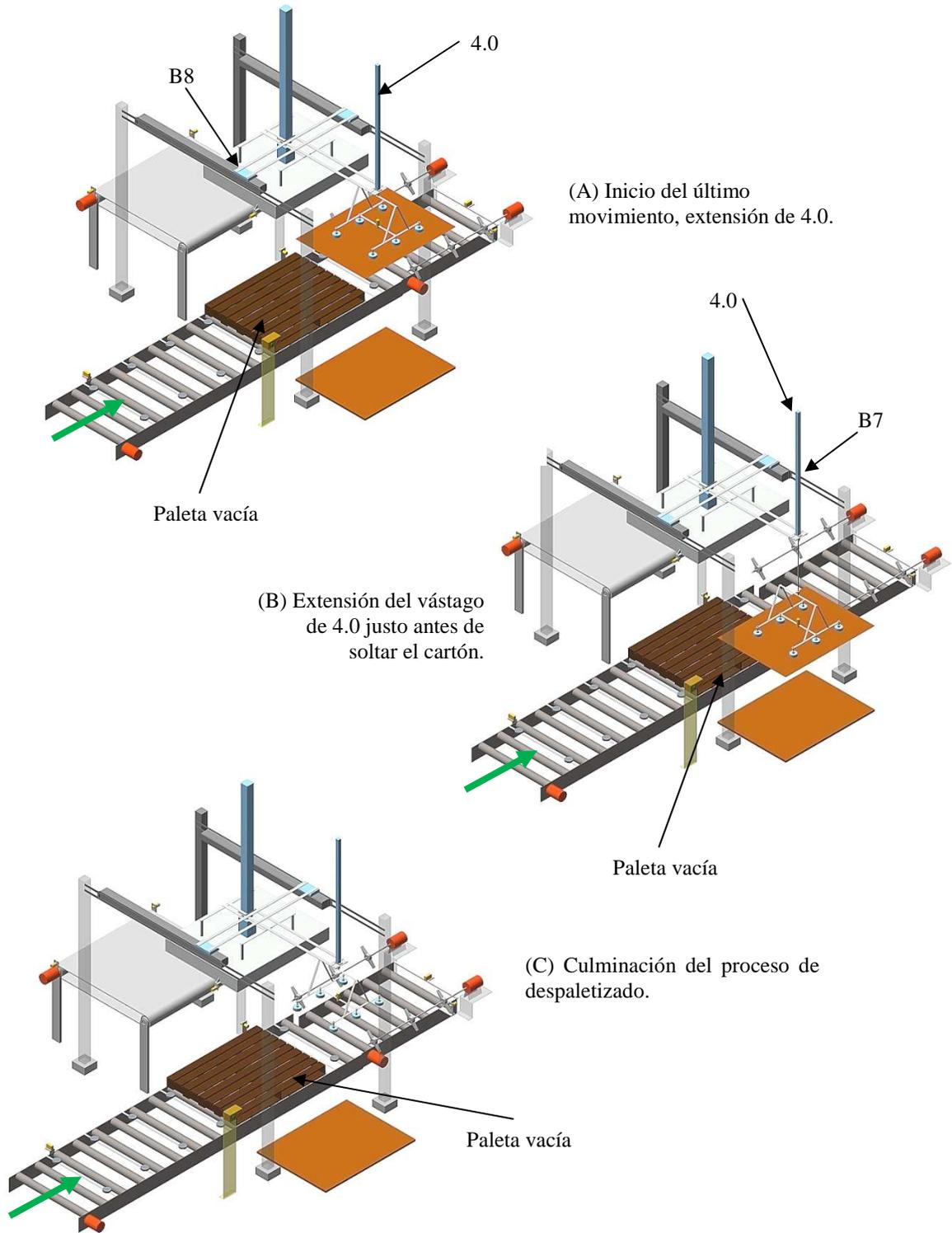
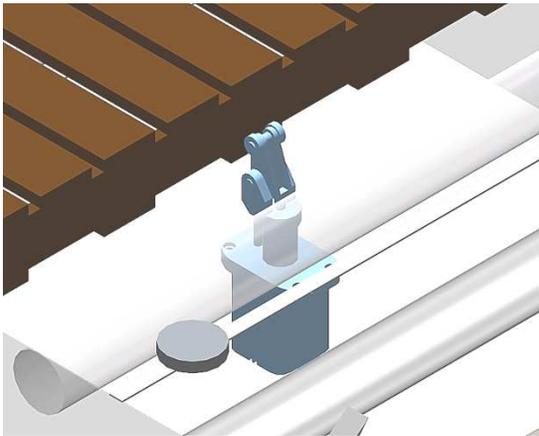
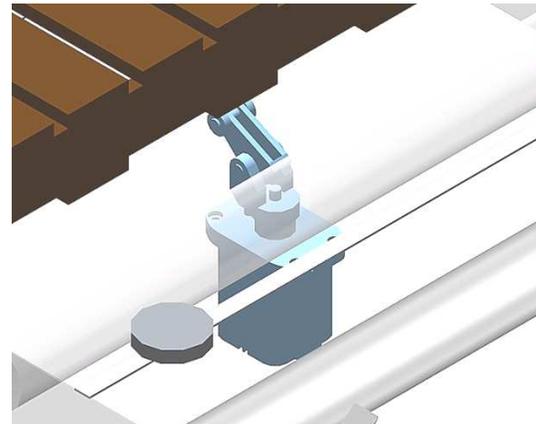


Figura N° 4.25 (A, B y C). Finalización del proceso de despaletizado.

De igual manera, el vacuostato B15 envía una señal eléctrica para que el solenoide Y1 conmute a la electroválvula 1.1 y haga que el vástago del actuador 1.0 se retraiga (ver figura N° 4.26 (B)) permitiendo así, activar al sensor magnético B1 y se desenergizará el solenoide Y1 haciendo que el vástago de 1.0 se extienda nuevamente (ver figura N° 4.26 (C)). Se puede observar como el balancín se ubica debajo de la paleta, permitiendo el avance de la misma.



(A) Posición inicial del vástago extendido, la cual no permite el paso de la paleta



(B) Retracción del vástago, se observa como el balancín se posiciona bajo la paleta



(C) Extensión del vástago, se observa como el balancín se ubica debajo de la paleta y de esta forma permite el paso de la misma

Figura N° 4.26 (A, B y C). Retracción y extensión del vástago del actuador 1.0.

Al introducir una nueva paleta al sistema (ver figura N° 4.27), el sistema iniciará un nuevo ciclo de despaletizado, luego de la señal de inicio dada por el operador al oprimir el pulsador S1, la cual enviará una señal eléctrica que activará a los transportadores M1 y M3.

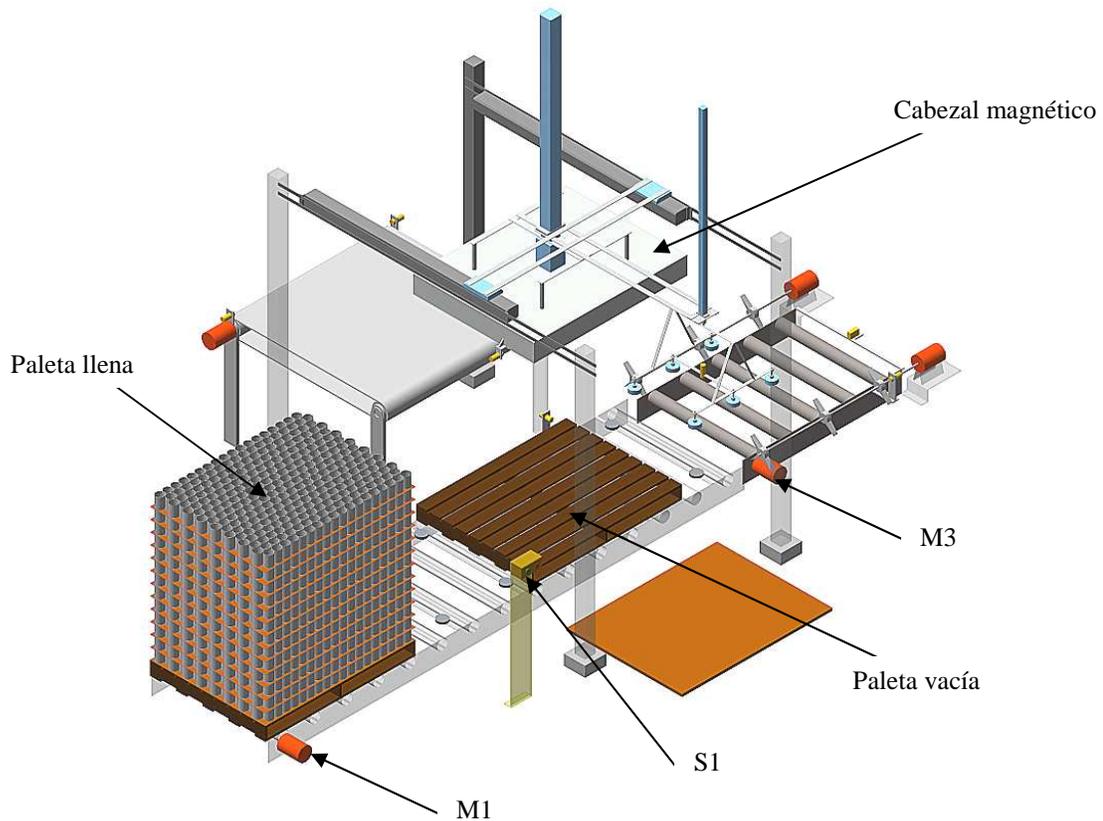


Figura N° 4.27. Introducción de una paleta llena al sistema.

Al activarse el transportador M1 debido al accionamiento de los microinterruptores S1 y S2, simultáneamente avanzarán las dos paletas ubicadas en dicho transportador. La paleta llena se desplazará al punto de despaletizado, mientras que la paleta vacía se trasladará hacia el transportador M3 que forma parte del acumulador de paletas (ver figura N° 4.28). Una vez que la paleta vacía deje de hacer contacto con 1.0, el balancín que forma parte del mismo, volverá a su posición inicial para garantizar el posicionamiento de la segunda paleta.

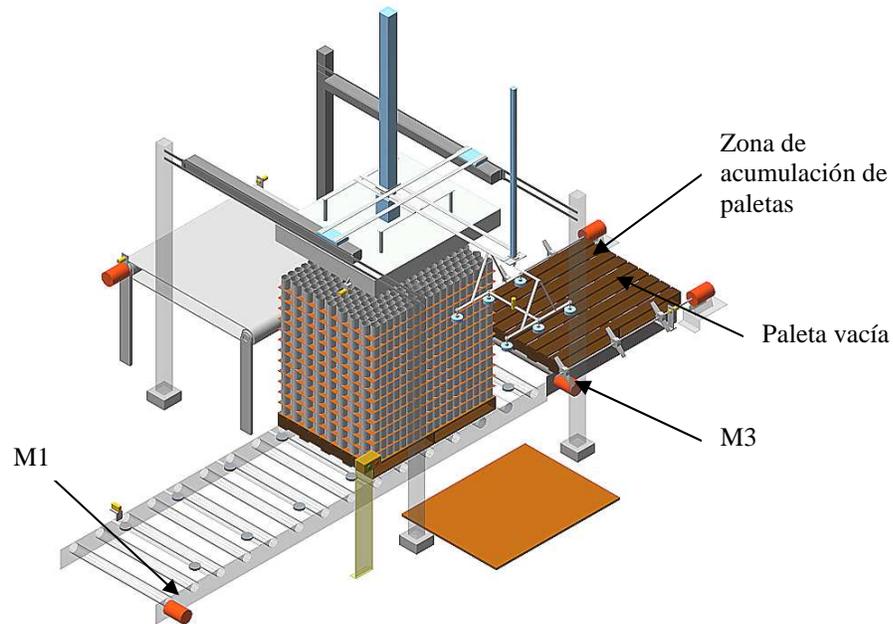


Figura N° 4.28. Ubicación de las paletas luego del avance debido a M1 y M3.

Al ubicarse la paleta vacía en el acumulador, se activará el microinterruptor S3 debido al contacto con la misma (ver figura N° 4.29), éste enviará una señal eléctrica para detener el movimiento del transportador M3 y adicionalmente enviará una señal eléctrica para arrancar a los motores M4 y M5.

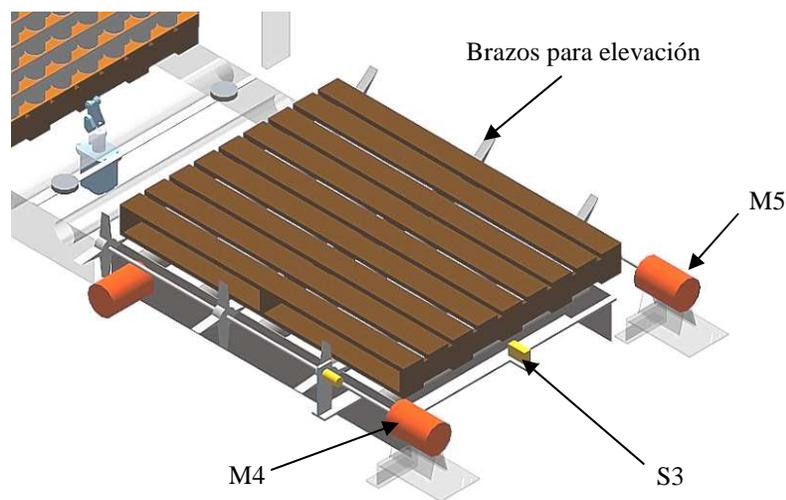


Figura N° 4.29. Detección de la paleta vacía por S3.

Los motores M4 y M5 elevarán las paletas vacías que vayan llegando y así lograr que estas se acumulen. Las figuras N° 4.30 (A), (B) y (C) muestran una vista posterior del acumulador de paletas donde se observa la secuencia de elevación de la paleta vacía. Una vez la paleta arriba, los motores M4 y M5 se detendrán debido a la detección de la posición de los brazos acoplados a los ejes, por un sensor inductivo identificado como B14 (Ver figura N° 4.30 (C)). De esta forma la paleta se encuentra en una posición que permita el paso de otra paleta vacía para su posterior acumulación y dando por concluido el proceso.

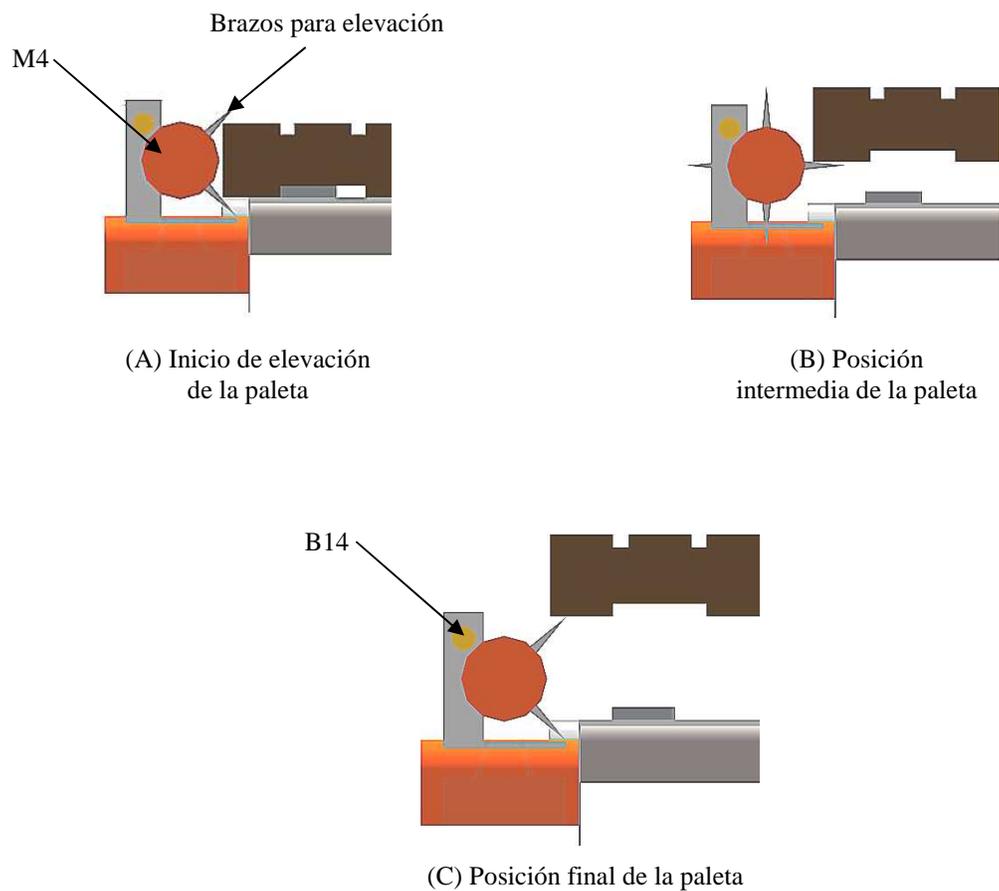


Fig. 4.30 (A, B y C). Secuencia de elevación de la paleta para acumulación.



---

#### 4.4. DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE DESPALETIZADO

La figura N° 4.31 muestra el diagrama funcional o diagrama GRAFCET, el cual representa las acciones del sistema de manera secuencial. Se escogió esta representación debido a su fácil interpretación ya que se basa en los conceptos de etapa y transición, que simplifican en gran medida los automatismos secuenciales evitando de esta forma incoherencias, bloqueos o conflictos en el funcionamiento.

Como condiciones iniciales del sistema, se tiene que el actuador 1.0 se encuentra extendido y los actuadores 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 y 6.0 se encuentran retraídos. Adicionalmente, el sistema de ventosas (7.0), se encuentra desactivado y los sensores magnéticos B2, B4, B6 y B8 están activados.

Como se puede observar en el diagrama, cada cuadro representa una etapa. En cada etapa se encuentra identificado cada elemento y entre paréntesis hay un signo (+ o -) que indica la condición o estado de los mismos. En los actuadores, el signo (+) indica la extensión y el signo (-) la retracción del vástago. De la misma manera, para indicar el arranque de un motor se utilizó el signo (+) y la parada el signo (-). Por último, se utilizó el signo (+) para indicar que se creó el vacío y el signo (-) para indicar que no hay vacío en las ventosas.

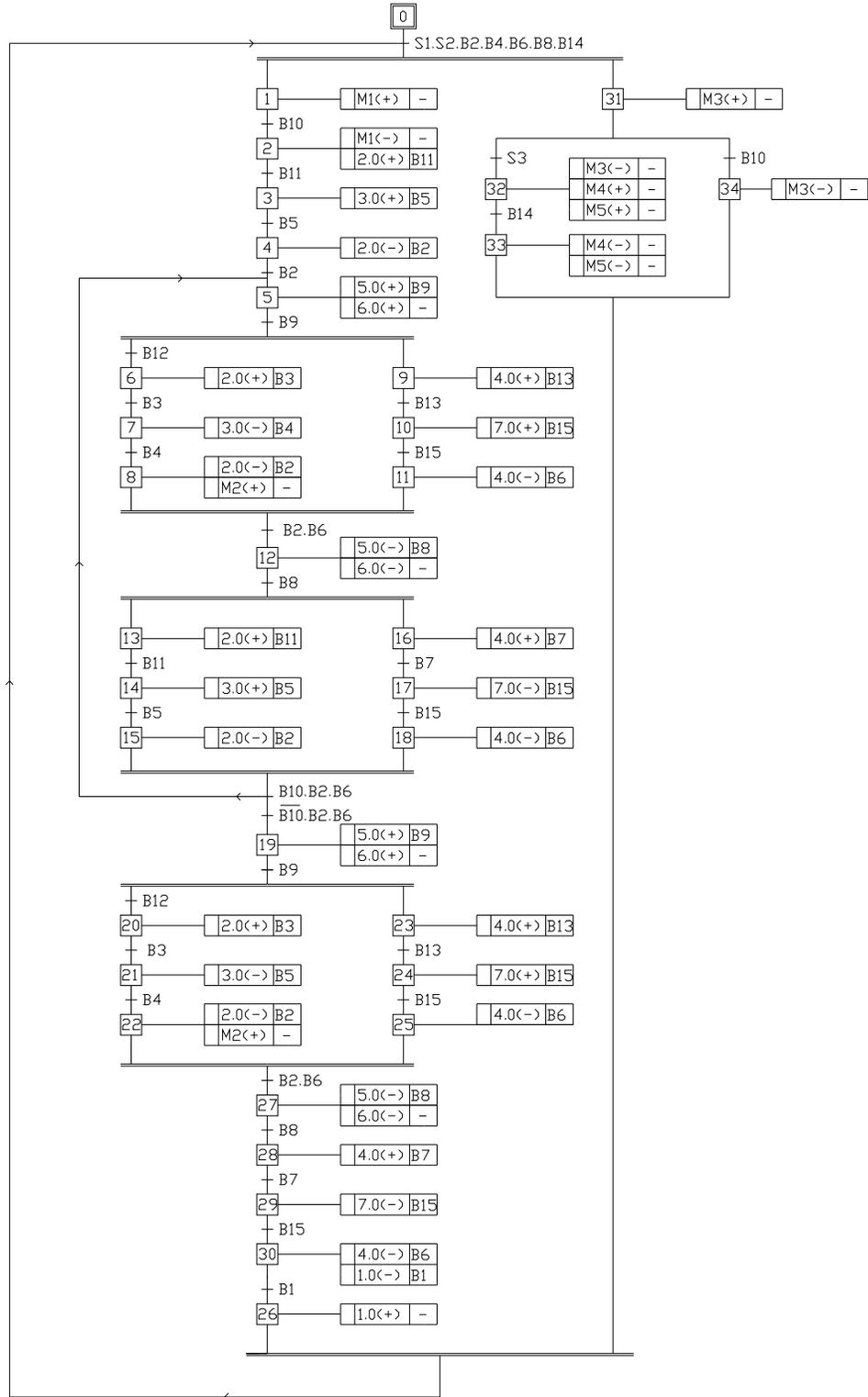


Figura N° 4.31. Diagrama funcional del sistema.



## 4.5. LISTADO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA DISEÑADO

En la tabla 4.1 se muestra el conjunto de entradas y salidas requeridas para llevar a cabo el proceso de despaletizado de latas, indicando el tipo de elemento, su función y su identificación.

Tabla N° 4.1. Listado de señales. Fuente: propia.

ELEMENTO	FUNCION	CONDICION	NOMBRE	DIRECCION
Pulsador	Arranque de la máquina	Entrada	S1	I:1
Microinterruptor	Detectar paleta al inicio de los rodillos transportadores	Entrada	S2	I:2
Microinterruptor	Detectar paleta al final de los rodillos transportadores	Entrada	S3	I:3
Pulsador	Parada de la máquina	Entrada	S4	I:4
Sensor magnético	Detectar retracción de actuador 1.0	Entrada	B1	I:5
Sensor magnético	Detectar retracción de actuador 2.0	Entrada	B2	I:6
Sensor magnético	Detectar extensión de actuador 2.0	Entrada	B3	I:7
Sensor magnético	Detectar retracción de actuador 3.0	Entrada	B4	I:8
Sensor magnético	Detectar extensión de actuador 3.0	Entrada	B5	I:9
Sensor magnético	Detectar retracción de actuador 4.0	Entrada	B6	I:10
Sensor magnético	Detectar extensión de actuador 4.0	Entrada	B7	I:11
Sensor magnético	Detectar retracción de actuador 5.0	Entrada	B8	I:12
Sensor magnético	Detectar extensión de actuador 5.0	Entrada	B9	I:13
Sensor de proximidad inductivo	Detectar posición de la paleta en la zona de despaletizado	Entrada	B10	I:14
Sensor de proximidad inductivo	Detectar cercanía de latas (ubicado en cabezal magnético)	Entrada	B11	I:15
Sensor optoelectrónico de barrera	Detectar existencia de latas en banda transportadora	Entrada	B12	I:16
Sensor optoelectrónico de reflexión directa	Detectar cercanía de cartones (ubicado en sist. de ventosas)	Entrada	B13	I:17
Sensor de proximidad inductivo	Detectar giro de acumulador de paletas	Entrada	B14	I:18
Vacuostato	Detectar sujeción de cartones	Entrada	B15	I:19
Solenoides de electroválvula	Conmuta la electroválvula 1.1	Salida	Y1	O:1
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 2.1	Salida	Y2	O:2
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 2.1	Salida	Y3	O:3
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 3.1	Salida	Y4	O:4
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 3.1	Salida	Y5	O:5



(Continuación) Tabla N° 4.1. Listado de señales. Fuente: propia.

ELEMENTO	FUNCION	CONDICION	NOMBRE	DIRECCION
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 4.1	Salida	Y6	O:6
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 4.1	Salida	Y7	O:7
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 5.1	Salida	Y8	O:8
Solenoides de electroválvula	conmuta la electroválvula 5.1	Salida	Y9	O:9
Solenoides de electroválvula	conmuta electroválvula (sist. de vacío)	Salida	Y10	O:10
Contactores	Arranque y parada de motor (rodillos transportadores)	Salida	K1	O:11
Contactores	Arranque y parada de motor (acumulador de paletas)	Salida	K2	O:12
Contactores	Arranque y parada de motor (banda transportadora)	Salida	K3	O:13
Contactores	Arranque y parada de motor (acumulador de paletas)	Salida	K4	O:14
Contactores	Arranque y parada de motor (acumulador de paletas)	Salida	K5	O:15

#### 4.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el diseño del sistema de control se escogió trabajar con lógica programable (PLC), debido a que este ofrece ciertas ventajas respecto al control por lógica cableada, tales como:

- La lista de elementos queda sensiblemente reducida y al elaborar el presupuesto correspondiente se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores y distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- La implementación de un PLC como elemento de control, requiere de un espacio mínimo con respecto a la lógica cableada, entre otros.



---

El autómata programable que se seleccione debe disponer de 19 entradas digitales, que corresponden a microinterruptores, sensores de proximidad y sensores magnéticos, y adicionalmente debe manejar 15 salidas digitales, que corresponden a solenoides y contactores.

#### **4.7. ESQUEMA DE CONTROL**

En la figura 4.32 se muestra el esquema de conexiones del plc del sistema automatizado de despaletizado y transporte de latas.

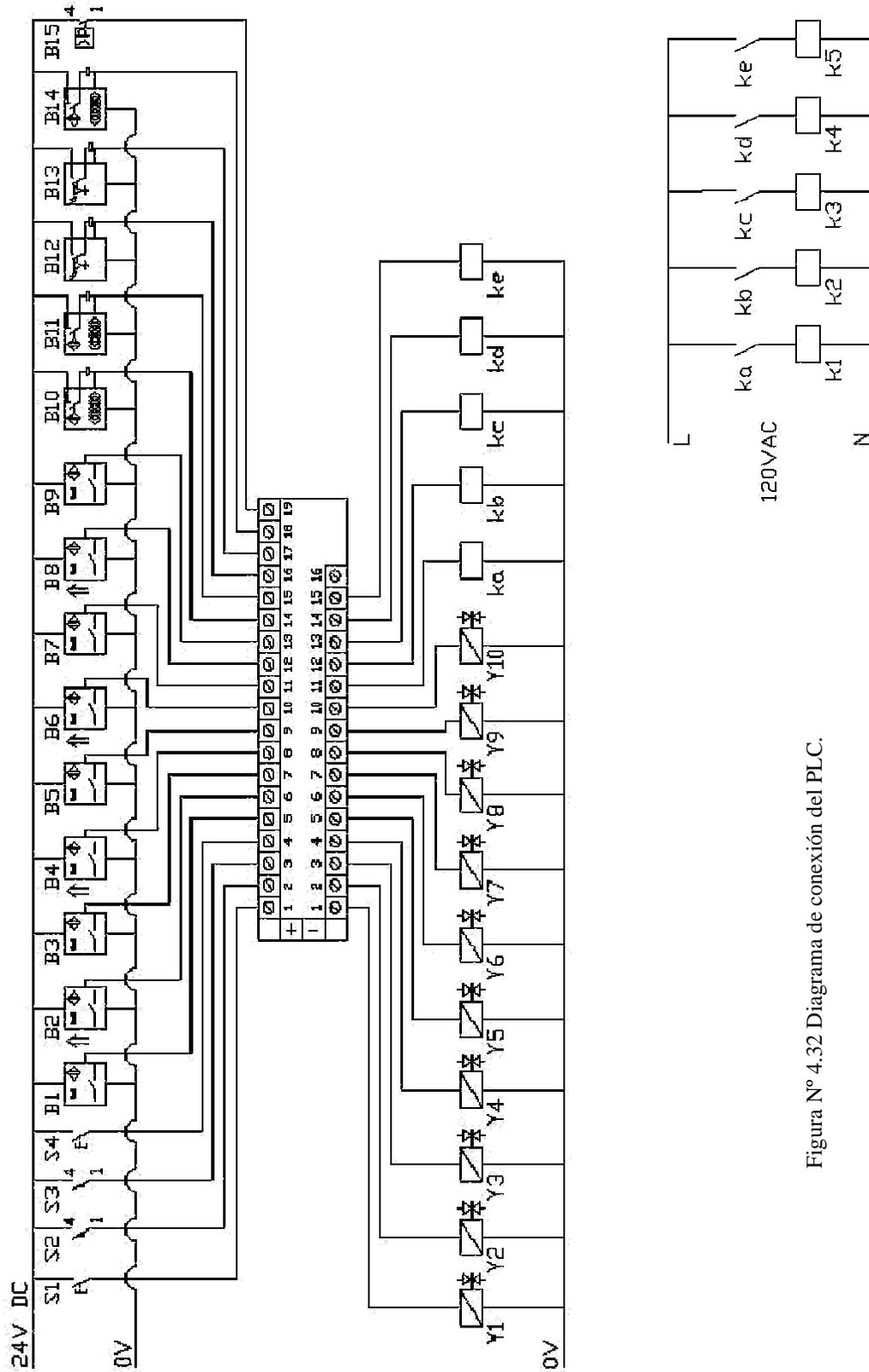


Figura N° 4.32 Diagrama de conexión del PLC.

### 4.8. PROGRAMACIÓN DEL PLC

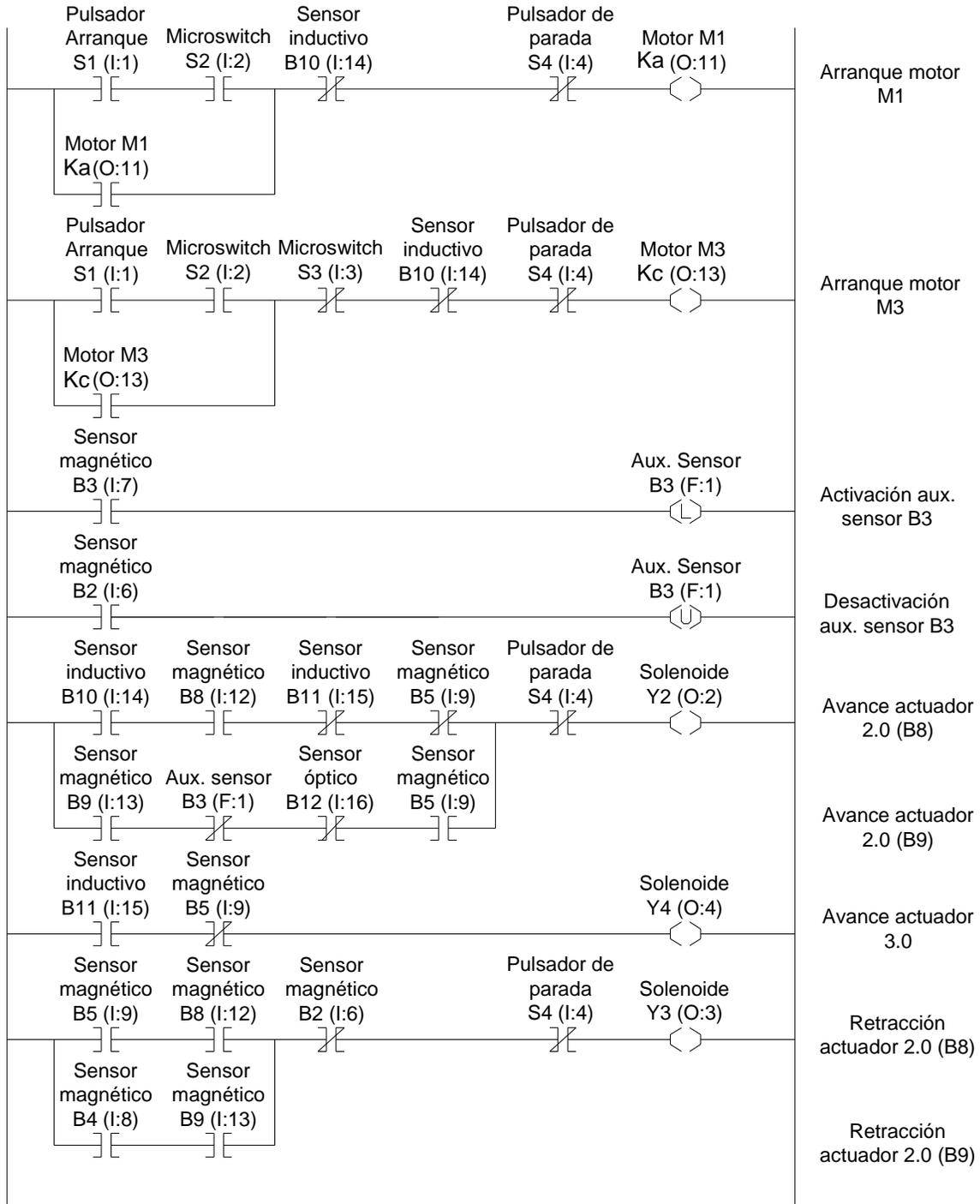


Figura N° 4.31. Programación en escalera del PLC.

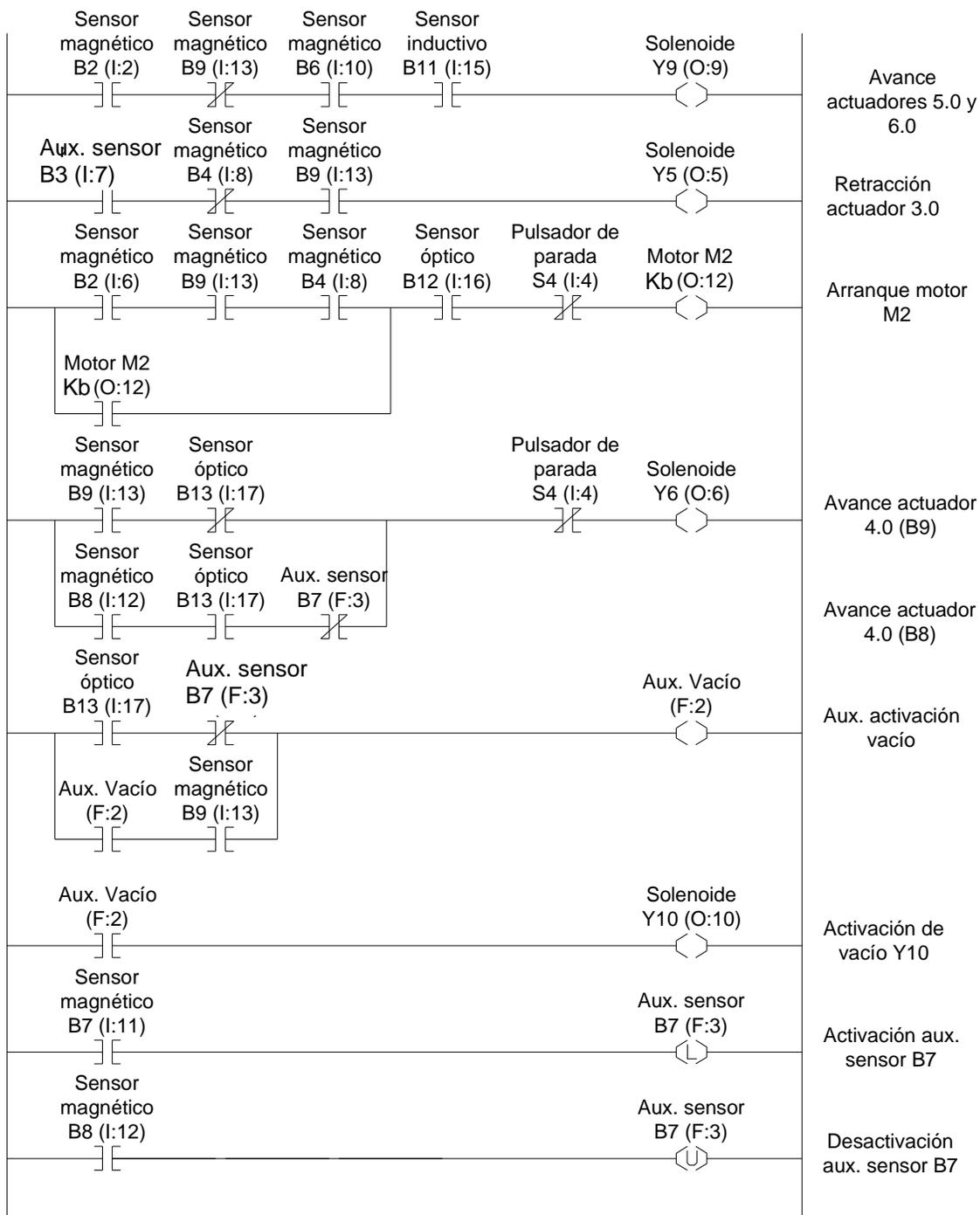


Figura N° 4.31. Programación en escalera del PLC. (Continuación)

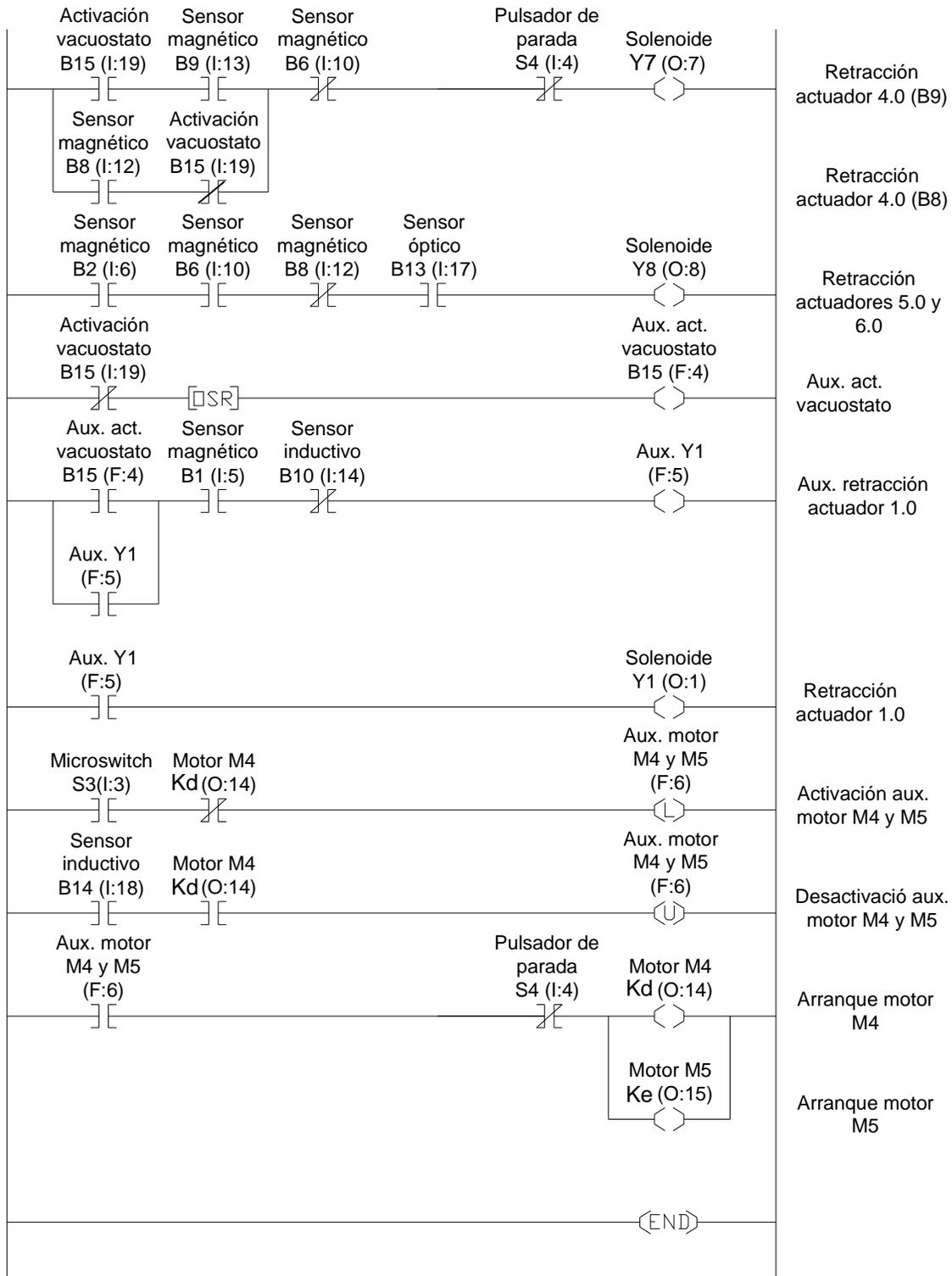


Figura N° 4.31. Programación en escalera del PLC. (Continuación)



---

## CAPÍTULO V

### SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DISEÑADO Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El presente capítulo contiene en primer lugar, la selección de los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos del sistema diseñado y los criterios tomados en consideración para llevar a cabo la selección. Luego se muestra el estudio de la factibilidad económica del proyecto, mediante el cual se determinará la rentabilidad del mismo.

#### 5.1. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA

Los principales elementos mecánicos que componen el sistema automatizado de despaleizado y transporte de latas se muestran en la figura N° 5.1. El diseño y selección de los componentes mecánicos se realizó tomando en consideración los pesos de los equipos a instalar, tales como el del cabezal magnético, los actuadores neumáticos, entre otros, con el fin de tomar en consideración todas las fuerzas que influyen en el diseño de cada uno de estos elementos.

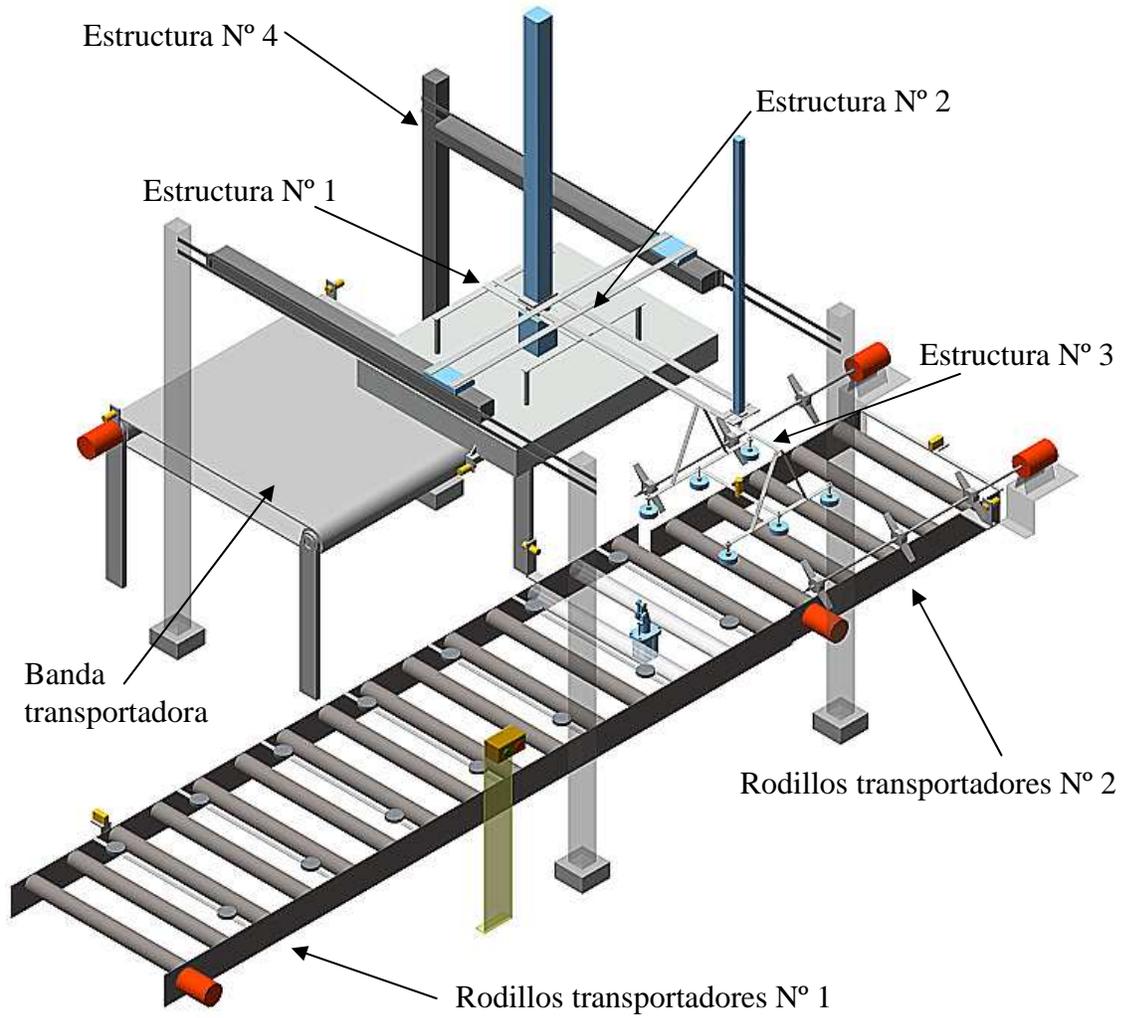


Figura N° 5.1. Elementos mecánicos a diseñar.

### - Estructura N° 1

Representa la asociación entre el cabezal magnético y el actuador 2.0, utilizados para la movilización de las latas. La misma está compuesta por cuatro ángulos de 40x4. La configuración de la estructura N° 1 se observa la figura 5.2.

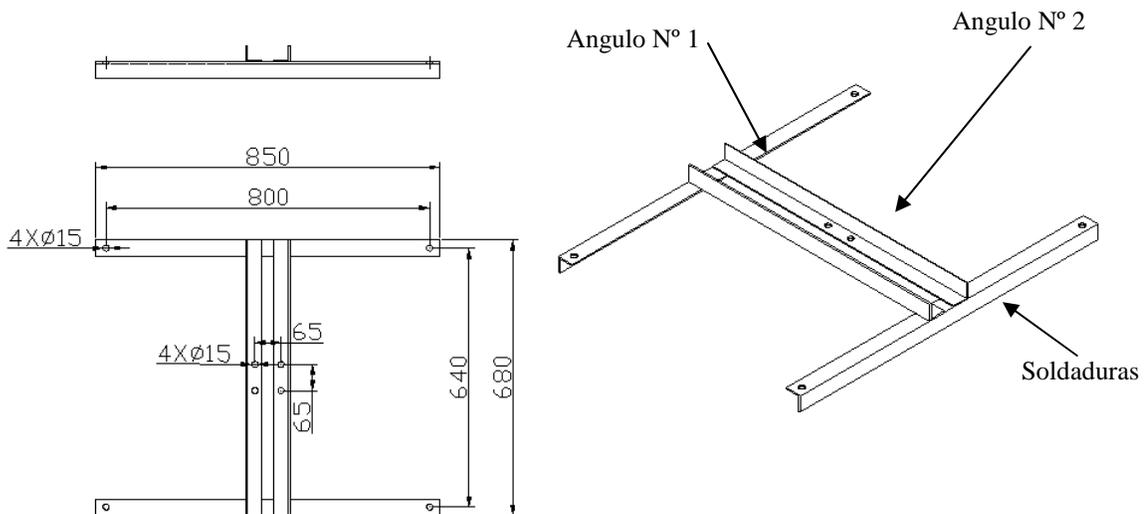


Figura N° 5.2. Estructura N° 1 (Dimensiones en mm).

Los cálculos del diseño para la estructura N° 1 se muestran en el apéndice B.1.

### - Estructura N° 2

Representa la asociación entre el actuador 2.0, el actuador 4.0, el actuador 5.0 y el actuador 6.0. La misma está compuesta por cuatro ángulos de 50x5. La configuración de la estructura N° 2 se observa en la figura N° 5.3.

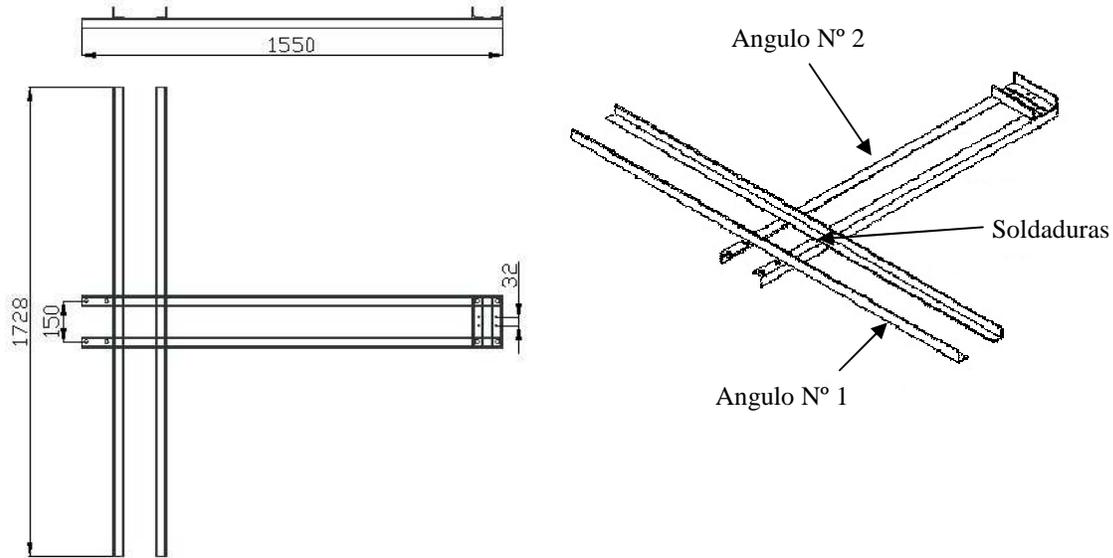


Figura N° 5.3. Estructura N° 2 (Dimensiones en mm).

Los cálculos del diseño de la estructura N° 2 se muestran en el apéndice B.2.

### - Estructura N° 3

Será la encargada de soportar el sistema de ventosas que sujetarán el cartón las cuales serán desplazadas por el actuador 4.0. La estructura estará formada por ocho pletinas de 1"x1/8". En la figura N° 5.4 se observa la configuración de la estructura N° 3.

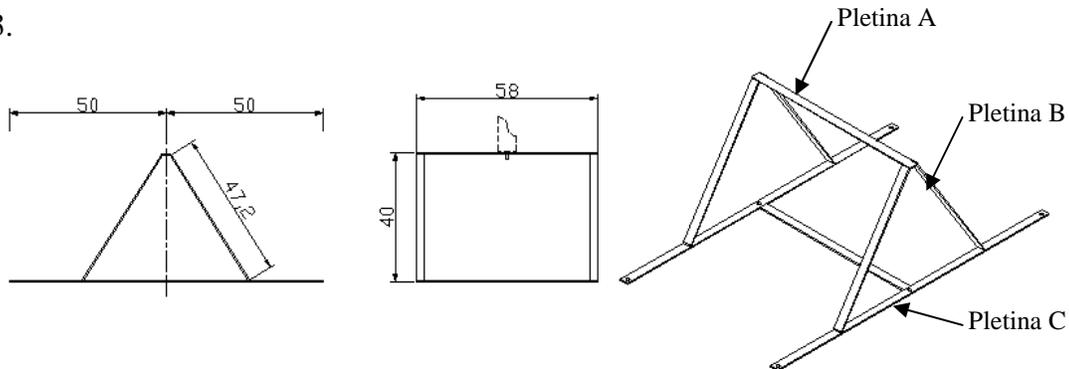


Figura N° 5.4. Estructura N° 3 (Dimensiones en mm).

Los cálculos del diseño de la estructura N° 3 se muestran en el apéndice B.3.

#### - Estructura N° 4

Está encargada de soportar a los actuadores sin vástago 5.0 y 6.0, los cuales a su vez desplazarán a la estructura N° 2. La misma está compuesta por cuatro columnas de tubo estructural cuadrado de 60x60 que sujetan a cuatro pletinas 1"X1/8". La configuración de la estructura N° 4 se observa la figura 5.5.

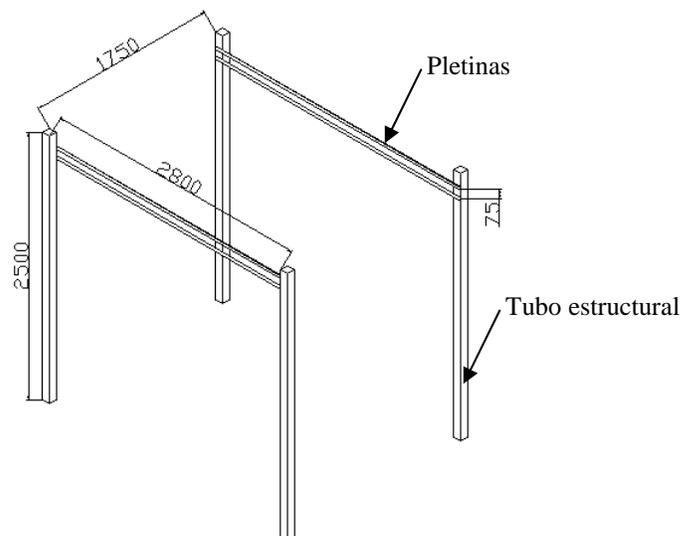


Figura N° 5.5. Estructura N° 4 (dimensiones en mm).

En la estructura N° 4 se realizará el diseño de las pletinas así como de los tubos estructurales y la unión entre estas será mediante soldadura. Los cálculos del diseño de la estructura N° 4 se muestran en el apéndice B.4.



---

- **Sistema acumulador de paletas**

Estará compuesto por los siguientes elementos:

**Pletina de 1"x1/8"**. Cada pletina posee un largo de 160mm, por lo que se requieren 3,84m de la misma, ya que son 16 en total.

**Ejes de acero**, AISI 1045, de 1" de diámetro y 1500mm de largo (2).

**Chumaceras**, SYH 3/4 RM (ver anexo N° 2) (4), con soporte SYH 504 U y rodamiento YAT 204-012.

**Acoples tipo L**, L75 para eje de 3/4" (ver anexo N° 3) (2).

**Motoreductores**, potencia 3/4Hp, relación 100:1, 110/220V (2).

El diseño de los elementos que conforman el sistema acumulador de paletas se muestra en el apéndice C.

- **Rodillos transportadores y banda transportadora**

Estarán encargados de la recepción y transporte de la paleta a lo largo de la despaletizadora. Por su parte, la banda transportadora estará encargada de la recepción y transporte de las latas provenientes de la despaletizadora hasta las llenadoras "Faudler" y la llenadora de "Sólidos" (ver diagrama N° 1.1).

Los rodillos transportadores y las bandas transportadoras a utilizar fueron seleccionaron del fabricante Mapaco C.A. Las características generales y cotización de los sistemas transportadores se muestran en el anexo N° 4.



## 5.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

La mayoría de los elementos del sistema automatizado, fueron seleccionados del fabricante Festo, directamente de los catálogos disponibles en su página de Internet [5], introduciendo el modelo o el número de artículo del componente es posible descargar la información técnica necesaria de cada uno.

**1. Cabezal magnético:** para llevar a cabo el proceso de despaletizado de latas, se va a utilizar un cabezal magnético de imán permanente marca Felemang, modelo PPS-1411-N, cuyas características y dimensiones se muestran en el anexo N° 5. El peso del cabezal es de aproximadamente 285 kg y viene incorporado en él, un cilindro neumático de doble efecto (actuador 3.0) de 150mm de carrera y 80mm de diámetro del émbolo. Adicionalmente, el cilindro neumático contiene instalados dos sensores magnéticos con salida digital PNP y un margen de tensión de funcionamiento entre 10 y 30 VDC, que corresponden a los sensores B4 y B5, y serán los encargados de detectar las posiciones de este actuador.

**2. Actuadores:** para seleccionar los actuadores del sistema diseñado, se utilizó el diagrama Presión-Fuerza que se muestra en el anexo N° 6, suministrado por el fabricante Festo Neumática. Dicho diagrama es la representación gráfica de la siguiente fórmula:

$$F = p \times 10 \times \frac{d^2 \times \pi \times 10}{4} - R$$

Donde:

F: Fuerza efectiva del vástago (N)

p: Presión de trabajo (bar)

d: Diámetro del émbolo (cm)

R: Fuerza de roce (N)



La utilización del diagrama arroja valores orientativos, debido a que la fuerza de roce depende de muchos factores como lubricación, presión de trabajo, contrapresión, entre otros. Para efectos de realización del diagrama se considera una fuerza de roce empírica, que representa un 10% de la fuerza efectiva.

El procedimiento para la selección fue el siguiente:

1. Se determina la fuerza de trabajo a la que va a estar sometido el actuador.
2. Con el valor de la fuerza y la presión disponible en la planta (88 psi = 6,07 bar), se utiliza la gráfica y se obtiene el diámetro mínimo que debe tener el émbolo del actuador.
3. Con el diámetro, obtenido se selecciona el diámetro comercial inmediatamente superior.
4. Por último, para verificar, se va a la gráfica nuevamente y ahora con el valor del diámetro y la presión, se busca la fuerza máxima que soportará el actuador.

En este punto cabe destacar que ninguno de los actuadores está sometido a esfuerzos de compresión, por lo tanto no será necesario realizar el estudio de pandeo para llevar a cabo la selección. A continuación se muestra la selección justificada de cada uno de los actuadores del sistema.

**Cilindro de tope (1.0):** para seleccionar este actuador, es necesario conocer el peso de la paleta y la velocidad a la que esta se va a mover a través de la transportadora de rodillos. El peso de la paleta más pesada es de 311,85 Kg (ver apéndice A), en base a este valor se selecciona el actuador directamente del catálogo. Festo además recomienda que la electroválvula que gobierna el movimiento de este actuador esté instalada directamente en el mismo, para asegurar un accionamiento rápido y directo, resultando lo siguiente:



Cilindro neumático de tope, de simple efecto, marca Festo.

Modelo: STAF-80-40-P-A-K

Fuerza de impacto: 6400 N

Diámetro del embolo: 80 mm

Carrera: 40 mm

Peso: 6,8 Kg

Accesorios:

Base para electroválvula, modelo ZVA-2

Electroválvula: MEH-3/2-5,0-B (Para vástago del cilindro normalmente extendido)

**Cilindro neumático (2.0) de elevación del cabezal magnético:** este actuador debe mover una masa de 320 Kg (3131,128 N), que corresponde a la masa del cabezal, de las latas y de la estructura que soporta al cabezal. Además se conoce que el actuador debe realizar una carrera máxima de 1500 mm (distancia que hay desde la base del cabezal magnético hasta la parte superior del último piso de latas). En base a esto se selecciona el cilindro neumático siguiendo el procedimiento antes indicado, resultando el siguiente:

Cilindro neumático de doble efecto, marca Festo.

Modelo: DNCB-100-1500-PPV-A

Fuerza: 5000 N @ 6,07 bar

Diámetro del embolo: 100 mm

Diámetro del vástago: 25 mm

Carrera: 1500 mm

Conexión neumática: G1/2

Peso: 19,725 Kg

Accesorios:

Brida de fijación, modelo FNC-100

Empalmes reductores D-3/8I-1/2A (2)



**Cilindro neumático (4.0) de elevación de ventosas:** la carrera máxima que debe realizar el actuador es de 1550 mm y debe mover una masa de 5 Kg, que corresponde al peso del grupo de ventosas, la estructura que las sostiene y la lámina de cartón. Esto quiere decir que el actuador debe realizar una fuerza superior a 49,04 N. Aplicando el procedimiento de selección, resulta el siguiente actuador:

Cilindro neumático de doble efecto, marca Festo.

Modelo: DNCB-32-1550-PPV-A

Fuerza: 500 N @ 6,07 bar

Diámetro del embolo: 32 mm

Diámetro del vástago: 12 mm

Carrera: 1550 mm

Conexión neumática: G1/8

Peso: 4,645 Kg

Accesorios:

Brida de fijación, modelo FNC-32

**Actuadores sin vástago (5.0 y 6.0):** para su selección, es necesario determinar las fuerzas y momentos a los que estarán sometidos, de acuerdo a las características del sistema diseñado (ver figura N° 5.6). En éste caso, solamente actúan sobre los actuadores  $F_z$ ,  $M_y$  y  $M_x$ , los cuales se determinan a continuación.

Los dos actuadores soportarán una carga de 370 Kg hacia abajo, por lo que el valor de  $F_z$  para cada actuador será la mitad de dicha carga.

$$F_z = \frac{370Kg}{2} = 185Kg = 1814,23N$$

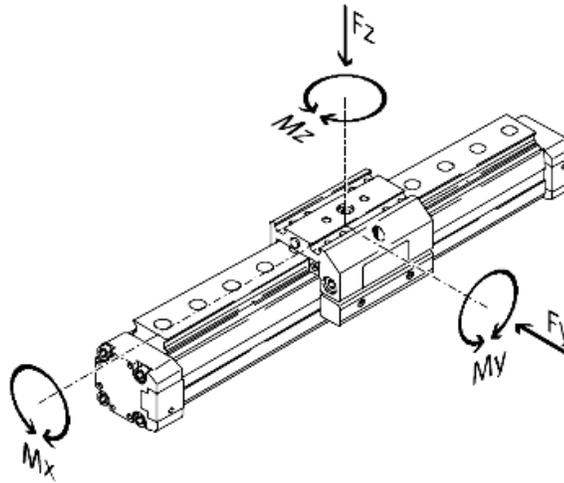


Figura N° 5.2.1. Distribución de fuerzas y momentos que actúan sobre los actuadores sin vástago. Cortesía de Festo.

Del apéndice B.2, se obtienen los valores de  $M_x$  y  $M_y$ .

$$M_x = 3581,98 \text{ Kg.cm} = 351,27 \text{ Nm}$$

$$M_y = 905,63 \text{ Kg.cm} = 88,81 \text{ Nm}$$

Si los actuadores están expuestos a varias fuerzas y momentos, deberán respetarse las cargas máximas admisibles y deberá cumplirse la siguiente ecuación:

$$\frac{F_y}{F_{y\max}} + \frac{F_z}{F_{z\max}} + \frac{M_x}{M_{x\max}} + \frac{M_y}{M_{y\max}} + \frac{M_z}{M_{z\max}} \leq 1$$

$$\frac{1814,23}{14050} + \frac{351,27}{580} + \frac{88,81}{910} = 0,83 \leq 1$$

El actuador seleccionado es el siguiente:

Actuador sin vástago de doble efecto, marca Festo.

Modelo: DGPL-63-1300-PPV-A-KF-B



Fuerza: 1900 N @ 6,07 bar

Diámetro del embolo: 63 mm

Carrera: 1300 mm

Conexión neumática: G3/8

Peso: 46,05 Kg

Accesorios:

Brida de fijación, modelo FNC-32

Racores QSK-3/8-8 (4)

Racores múltiples QSLV2-3/8-8 (2)

Manguitos QM-3/8-A/I (2)

### 3. Sensores

**Sensores de proximidad magnéticos:** estos sensores serán los encargados de detectar las posiciones de los vástagos de los actuadores del sistema. Dicho sistema requiere una cantidad de 7 sensores, que corresponden a los sensores B1, B2, B3, B6, B7, B8 y B9, los cuales irán instalados directamente en una ranura que poseen los actuadores, a ras con el perfil de estos. Las características del sensor se muestran a continuación:

Sensores de proximidad para ranura en T, reed magnéticos (7), marca Festo.

Modelo: SME-8-K-LED-24

Tensión de funcionamiento: 12-30 V DC

Salida digital

Con led indicador

Contacto normalmente abierto

**Sensores inductivos:** el sistema cuenta con tres sensores de proximidad inductivos, identificados como B10, B11 y B14. El sensor B10 está ubicado al final



del transportador de rodillos denominado como M1, y será el encargado de detectar la posición de la paleta en dicho transportador. El sensor B11 está instalado en el cabezal magnético y será el encargado de enviar una señal para detener al actuador 2.0 justo sobre las latas. Debido a la cercanía del sensor al cabezal, el sensor debe ser insensible a campos magnéticos para no afectar su operación. Por último, el sensor B14 estará ubicado en el sistema acumulador de paletas, y es el encargado de garantizar el funcionamiento de dicho acumulador. Con esta información se selecciona el sensor con las siguientes características:

Sensores de proximidad inductivos (3), marca Festo.

Modelo: SIEF-M30NB-PS-K-L

Insensible a campos magnéticos

Tensión de funcionamiento: 10-30 V DC

Distancia nominal de detección: 20 mm

Con led indicador

Salida eléctrica PNP

**Sensores de proximidad optoelectrónicos:** por último, el sistema contará con dos sensores optoelectrónicos, identificados como B12 y B13. El sensor B12 está ubicado sobre la banda transportadora que comunica a la despaletizadora con la línea de producción (ver figura N° 4.9). Su función es detectar cuando una camada de latas se encuentre sobre la banda transportadora y garantizar que hayan pasado todas las latas de la primera camada para poder descargar una próxima. En base a esto se seleccionó el siguiente sensor:

Sensor de proximidad optoelectrónico de barrera de luz, marca Festo.

Modelo: SOEG-S-Q30-K-L (emisor)

SOEG-E-Q30-PS-K-2L (receptor)

Normalmente abierto



---

Tensión de funcionamiento: 10-30 V DC

Tipo de luz del emisor: Infrarroja

Con led indicador

Alcance: 0-6.000 mm

Salida eléctrica del receptor: PNP

Por otra parte, el sensor B13 estará ubicado junto al sistema de ventosas y su función es detectar cuando estas se encuentren justo sobre la lámina de cartón, para detener el actuador 4.0. El sensor seleccionado posee las siguientes características:

Sensor de reflexión directa, marca Festo.

Modelo: SOEG-RT-4-PS-K-L

Tensión de funcionamiento: 10-30 V DC

Tipo de luz: Infrarroja

Con led indicador

Alcance: 0-50 mm

Salida eléctrica: PNP

#### **4. Microinterruptores**

El sistema cuenta con dos microinterruptores eléctricos identificados como S2 y S3. El primero estará ubicado al principio de la transportadora de rodillos y el segundo, al final del acumulador de paletas. Ambos tienen como función, detectar la posición de la paleta mediante el contacto físico entre esta y el microinterruptor, el cual se selecciona el siguiente:

Microinterruptores con rodillo (3), marca Festo.

Modelo: SR-3-E-SW

Con 3 hilos de conexión (0,5 m de largo)



## 5. Tubo flexible

Se seleccionó un tubo flexible de 8 mm de diámetro externo, apropiado para trabajar con alimentos.

Tubo flexible de 8mm, marca Festo.

Modelo: PUN-H-8X1-BL

Color: Azul.

## 6. Electroválvulas

Para llevar a cabo la selección de las electroválvulas del sistema diseñado, es necesario determinar el consumo de aire y la velocidad de operación de cada actuador. El consumo de aire se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \times p \times 10^{-6}$$

Donde:

Q: volumen de aire por cm de carrera (l)

d: diámetro del émbolo (mm)

h: carrera (mm)

p: presión de trabajo (bar)

En el anexo N° 7, se muestra el diagrama de Consumo de Aire suministrado por Festo, en donde se representa gráficamente la fórmula mostrada. El consumo de aire que resulta de utilizar la gráfica da el resultado en litros por cm de carrera, por lo que es necesario multiplicar este valor por la carrera del actuador en cm.



El otro factor que hay que tomar en cuenta en la selección de las válvulas, es la velocidad de los actuadores, la cual se establece en un valor promedio de 0,1 m/seg. Luego con el consumo de aire y la velocidad, se determina el caudal con el que se selecciona la válvula adecuada, además de parámetros como número de posiciones, número de vías, tipo de accionamiento, etc.

**Electroválvula 2.1:** esta electroválvula es la que alimenta al actuador 2.0. Dicho actuador posee 100 mm de diámetro del émbolo, 1500 mm de carrera y la presión de funcionamiento es de 6,07 bar. Con estos valores obtenemos que el consumo de aire del actuador es de:

$$Q = 0,5l / cm$$

Y con el valor de  $V = 0,5l / cm \times 150cm = 75litros$  la velocidad y la carrera del actuador se determina que el tiempo en que realiza la carrera completa es de 15s, para luego determinar el caudal que debe suministrarse al actuador:

$$\dot{Q} = \frac{75l}{15s} = 5l / s = 300l / min$$

En base a este valor, se selecciona una electroválvula que proporcione un caudal mayor al indicado, resultando la siguiente:

Electroválvula 5/3 vías cerrada, marca Festo.

Modelo: MEH-5/3G-1/8-B

Tensión de alimentación: 24 V DC

Caudal nominal: 600 l/min

Conexiones neumáticas: G1/8

Accesorios: Racores QSK-G1/8-8 (3)

Conector tipo zócalo para válvulas con bobinas tipo E, MSSD-E (2)

**Electroválvula 3.1:** esta alimenta al actuador 3.0, que tiene 150mm de carrera y 80mm de diámetro del émbolo. Aplicando el procedimiento antes indicado:



$$V = 0,4l / cm \times 15cm = 6litros$$

$$Q = 0,4l / cm$$

$$t = \frac{15cm}{10cm/s} = 1,5segundos$$

$$\dot{Q} = \frac{6l}{1,5s} = 4l / s = 240l / min$$

Electroválvula 5/2 vías, biestable, marca Festo.

Modelo: JMEH-5/2-1/8-B

Tensión de alimentación: 24 V DC

Caudal nominal: 650l/min

Conexiones neumáticas: G1/8

Accesorios: Racores QSK-G1/8-8 (3)

Conector tipo zócalo para válvulas con bobinas tipo E, MSSD-E (2)

**Electroválvula 4.1:** esta electroválvula alimenta al actuador 4.0 que posee 1550 mm de carrera y el diámetro del émbolo es de 32 mm.

$$Q = 0,05l / cm$$

$$V = 0,05l / cm \times 155cm = 7,75litros$$

$$t = \frac{155cm}{10cm/s} = 15,5segundos$$

$$\dot{Q} = \frac{7,75l}{15,5s} = 0,5l / s = 30l / min$$

Electroválvula 5/3 vías, cerrada, marca Festo.

Modelo: CPE10-M1BH-5/3G-M5-B



Tensión de alimentación: 24 V DC

Caudal nominal: 180 l/min

Conexiones neumáticas: M5 (1, 2, 4)

Accesorios: Racores QSK-M5-8 (3)

**Electroválvula 5.1/6.1:** esta alimenta a los actuadores 5.0 y 6.0, por lo que tendrá que ser capaz de manejar el caudal que consuman los dos actuadores. Cada actuador sin vástago seleccionado tiene 1300 mm de carrera y 63 mm de diámetro del embolo. Para calcular el caudal que debe manejar la electroválvula, se va a tomar en cuenta el consumo de un actuador y al después se multiplica este valor por dos.

$$Q = 0,2l / cm$$

$$V = 0,2l / cm \times 130cm = 26litros$$

$$t = \frac{130cm}{10cm / s} = 13segundos$$

$$\dot{Q} = \frac{26l}{13s} = 2l / s = 160l / min$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 320l / min$$

Electroválvula 5/2 vías, biestable, marca Festo.

Modelo: CPE14-M1BH-5J-QS-8

Tensión de alimentación: 24 V DC

Caudal nominal: 680 l/min

Conexiones neumáticas: P/manguera 8mm (1, 2, 4)

## 7. Sistema de generación de vacío



El proceso de selección del conjunto de aspiración se realizó con ayuda del programa Vacuum Selection de Festo. Para precisar el tipo de ventosa a utilizar, es necesario introducir las características del material (dimensiones, densidad del material, disposición de las ventosas) que se va a manipular utilizando la técnica de vacío. En la tabla N° 5.1, se muestran las características de la lámina de cartón y en base a ellas se selecciona el conjunto de aspiración.

Tabla N° 5.1. Características de la lámina de cartón. Fuente: propia.

<b>Características</b>	<b>Magnitud</b>
Largo (mm)	1500
Ancho (mm)	1100
Alto (mm)	0,5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,1
Peso (g)	825

Conjunto de aspiración, marca Festo.

Modelo: ESG-10-SU-HA-QS-F-WA

Diámetro de la ventosa: 10 mm

Material de la ventosa: Poliuretano

Numero de ventosas: 6, dispuestas en forma rectangular (3x2)

Cada conjunto de aspiración está conformado por:

Elemento de fijación

Compensador angular

Filtro

Ventosa

Accesorios: Racor Múltiple QSLV6-1/8-8

Por su parte, el sistema generador de vacío seleccionado, consta de una electroválvula que va a controlar la alimentación de aire comprimido a través de la



tobera de aspiración, para la generación del vacío. Adicionalmente el sistema tiene un vacuostato integrado, que es el encargado de indicar la presencia del vacío.

Generador de vacío con vacuostato integrado, marca Festo.

Modelo: VADM-70-P

Tensión de alimentación (electroválvula): 24 V DC

Conexiones neumáticas:

Conexión 1: M5

Conexión 2: G1/8

Salida del vacuostato: PNP

Con silenciador integrado

Accesorios: Racor QSK-G1/8-8

Boquilla Reductora NPFB-R-G18-M5-FM

## **8. Válvulas reguladoras de caudal**

Para regular las velocidades de los vástagos de los actuadores, se utilizarán válvulas reguladoras de caudal con estrangulación del aire al escape. Con estas válvulas, se garantiza que las velocidades de los actuadores 2.0, 4.0, 5.0 y 6.0, sean las óptimas para que el sistema de despaletizado trabaje adecuadamente. Según los caudales requeridos por cada actuador, se seleccionaron las siguientes válvulas:

Para los actuadores 2.0, 5.0 y 6.0:

Válvulas reguladoras de caudal, con estrangulación del aire de escape. (4)

Marca: Festo.

Modelo: GRLA-3/8-QS-8-D

Caudal nominal: 850l/min

Conexiones neumáticas:

Conexión 1: 8mm



---

Conexión 2: G3/8

Para el actuador 4.0:

Válvulas reguladoras de caudal, con estrangulación del aire de escape. (2)

Marca: Festo.

Modelo: GRLA-1/8-QS-8-D

Caudal nominal: 215l/min

Conexiones neumáticas:

Conexión 1: 8mm

Conexión 2: G1/8

### **9. Controlador Lógico Programable (PLC)**

Para controlar las funciones del sistema diseñado, se seleccionó un PLC marca Siemens de la serie S7 200. Dicha selección se fundamentó en que dicho PLC maneja el número de entradas y salidas requeridas por el sistema y por su disponibilidad en el mercado. El PLC seleccionado consta de los siguientes elementos:

Procesador: CPU 226, código 6ES7 216-2AD23-0XB0 (ver anexo N° 8). Esta unidad maneja 24 entradas digitales y 16 salidas digitales, por lo que es capaz de cubrir las 19 entradas y 15 salidas requeridas por el sistema. La tensión de alimentación es de 24 V DC y puede ser programado mediante un diagrama de escalera.

Fuente de poder: tipo 5A, código 6EP1 333-2BA01. La tensión de alimentación es de 120/230 V AC y la salida es de 24 V DC.

Adicionalmente, se selecciona un modulo de salidas digitales, código 6ES7 222-1BF22-0XA0 (ver anexo N° 9). Este módulo cuenta con 8 salidas digitales



adicionales a las del PLC, que servirán de reserva en caso de ampliaciones del sistema automatizado. La tensión de alimentación es de 24 V DC.

### 5.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA [3]

El estudio económico se va a realizar utilizando el método de valor actual del sistema a instalar, tomando en cuenta la inversión inicial y flujos monetarios. Este método permite ver el flujo monetario asociado al proyecto en el presente. Los flujos monetarios se van a representar como la ganancia que se va a obtener con el aumento de la producción al implementar el sistema. También se determinará el tiempo de pago, para conocer el tiempo en que se recuperará la inversión.

**Período de estudio:** este se va a tomar como la vida útil de los cilindros neumáticos (10 años), ya que es el momento en que se deben reemplazar, lo cual representa un gasto significativo de mantenimiento en el sistema diseñado.

**Inversión inicial (II):** para el cálculo de la inversión, se tomo en cuenta cada uno de los factores que representa una carga económica en el momento de la implementación del sistema diseñado, tales como elementos para la estructura, sistema de control, mano de obra e imprevistos (ver anexo N° 10)

Tabla N° 5.2. Inversión Inicial. Fuente: propia.

Rubros	Costo (BsF.)
Costo de componentes del sistema	155.391,12
Instalación	17.500,00
Imprevistos (aprox. 10% costo de equipos.)	15.539,11
Total	188.430,23



**Tasa interna de retorno:** se va a realizar el estudio con una tasa interna de retorno  $i = 15\%$ , cubriendo con los requerimientos establecidos por la empresa beneficiaria.

**Tasa de inflación:** el estudio se realizará con una tasa de inflación  $f = 20,5\%$ , tomados de la fuente del banco central de Venezuela para el año 2007.

**Tasa compuesta:** la tasa compuesta se calcula según la ecuación:

$$ic = i + f + (i \times f) = 0,15 + 0,205 + (0,15 \times 0,205) = 0,3858$$
$$ic = 38,58 \%$$

**Precio a futuro:** debido a que se conocen los costos operacionales en tiempo presente, se debe calcular cada uno de los flujos monetarios a futuro según sea el año en que se realice.

$$PF = PP(1+f)^t$$

**Flujos monetarios:** el estudio se realizará en base al incremento de las ganancias generadas debido al aumento en 60 latas/min. al implantar el sistema de despaletizado y transporte de latas.

Los Ingresos Brutos (IB) debido al incremento de la producción serán el resultado de la ganancia obtenida por lata producida, por el número de latas producidas en un período de un año. El número de latas producidas en un año será igual a:

- Incremento de producción de la línea:  
60 latas/min.



- Tiempo de producción:  
2 turnos de 9 horas.
- Tiempo efectivo de producción (restando 60 minutos de almuerzo y 35 min de ajuste de la línea):  
445 min/turno
- Tiempo de trabajo semanal:  
5días (2 turnos) + 1 día (1 turno) = 11 turnos/semana.
- Turno por mes:  
11 turnos/sem. \* 4 semanas = 44 turnos.
- Meses al año de producción:  
11 meses (tomando el descuento de las vacaciones colectivas).
- Turno por año:  
44 turnos/mes. \* 11 meses = 484 turnos.
- Producción de latas por turno:  
60 latas/hora \* 445 horas = 26.700 envases/turno
- Producción de latas por año:  
43.200 latas/turno \* 484 turnos/año. = 12.922.800 latas/año
- Ingresos por año:  
12.922.800 latas/año \* 0,17 BsF/lata = 2.196.876 BsF.

Los Costos Operacionales (COP) del sistema de despaletizado y transporte serán:

- Salario anual de un operador = 11.760 BsF./anuales
- Mantenimiento mecánico: 400 BsF/año
- Cambio del kit de sellos de los cilindros neumáticos: 1.200 BsF. y se realiza cada tres años.

Se estima que el Valor Residual (VR) del sistema luego de pasados 10 años sea del 10% del costo inicial del dispositivo (VR= 18.843,02. BsF).



Tabla N° 5.3. Flujos monetarios del proyecto diseñado. Fuente: propia.

<b>Año</b>	<b>(II)</b>	<b>(IB)</b>	<b>(Cop)</b>	<b>Cambio de kit de los cilindros neumáticos</b>	<b>Mtto. Mecánico</b>	<b>Valor residual</b>
0	X					
1		X	X		X	
2		X	X		X	
3		X	X	X	X	
4		X	X		X	
5		X	X		X	
6		X	X	X	X	
7		X	X		X	
8		X	X		X	
9		X	X	X	X	
10		X	X		X	X

Tabla N° 5.4. Flujo monetario de cada año del periodo de estudio. Fuente: propia.

<b>Año</b>	<b>Fm<sub>n</sub> (BsF.)</b>	<b>Factor (P/S<sub>n</sub>; 38,58%)</b>
0	-188.430,23	1
1	2.632.582,78	0,7216
2	3.172.262,25	0,52071
3	3.820.476,38	0,37575
4	4.606.204,09	0,27114
5	5.550.475,93	0,19566
6	6.684.649,8	0,14119
7	8.059.429,82	0,10188
8	9.711.612,93	0,07352
9	11.696.065,7	0,05305
10	14.120.347,8	0,03828



El valor actual se determina mediante la expresión:

$$VA_{(38,58\%)} = Fm_0 + Fm_1(P/S_{1;38,58\%}) + Fm_2(P/S_{2;38,58\%}) + Fm_3(P/S_{3;38,58\%}) + Fm_4(P/S_{4;38,58\%}) + Fm_5(P/S_{5;38,58\%}) + Fm_6(P/S_{6;38,58\%}) + Fm_7(P/S_{7;38,58\%}) + Fm_8(P/S_{8;38,58\%}) + Fm_9(P/S_{9;38,58\%}) + Fm_{10}(P/S_{10;38,58\%})$$

$$VA_{(38,58\%)} = -188.430,23 \text{ BsF.} + 1.899.671,73 \text{ BsF.} + 1.651.828,68 \text{ BsF.} + 1.435.544 \text{ BsF.} + 1.248.926,18 \text{ BsF.} + 1.086.006,12 \text{ BsF.} + 943.805,705 \text{ BsF.} + 821.094,71 \text{ BsF.} + 713.997,782 \text{ BsF.} + 620.476,288 \text{ BsF.} + 540.526,913 \text{ BsF.}$$

$$VA_{(38,58\%)} = 10.773.447,9 \text{ BsF.}$$

Esto significa que los ingresos del proyecto son superiores a los costos, incluida la tasa mínima de rendimiento del 15%, en una cantidad de 10.773.447,9 BsF. en el punto cero de la escala de tiempo.

**Tiempo de Pago:** mediante este modelo de evaluación se mide el tiempo, en años, requerido para que los flujos monetarios netos recuperen la inversión inicial a una tasa mínima de rendimiento igual a cero.

Tabla N° 5.5. Tiempo de pago. Fuente: propia.

Año	Flujo neto (Ft)	-II+ΣFt
0	II= 188.430,23	-188.430,23
1	2.632.582,78	2.444.152,55

De la tabla anterior se deduce que el tiempo de pago del sistema diseñado es menor a un año, ya que el flujo neto para el primer año es positivo (Ft = 2.444.152,55 BsF.), por lo tanto el proyecto es rentable.



---

## CONCLUSIONES

La implementación del sistema automatizado eliminará el proceso de despaletizado manual, aumentando la producción de la línea y mejorando las condiciones laborales de los trabajadores.

El sistema automatizado de despaletizado de latas será capaz de trabajar con 180 latas/min, que corresponde a la velocidad máxima actual de la línea de producción. De igual manera puede alcanzar velocidades superiores a esta en el caso de que sean sustituidos los equipos actualmente instalados en la línea de producción por unos de mayor capacidad, solamente realizando unas leves modificaciones al sistema.

La ubicación del sistema de despaletizado y transporte de latas evita la constante entrada de los montacargas a la planta, por lo que no se pone en riesgo la higiene del lugar y se genera un ambiente de trabajo más seguro.

Mediante un estudio económico, se determinó que el proyecto del sistema automatizado de despaletizado y transporte de latas es económicamente factible de llevar a cabo bajo las condiciones propuestas en dicho estudio. En este se observa como las ganancias generadas por el aumento de la producción en 60 latas/min cubren la inversión inicial y los gastos operacionales correspondientes a la implementación de la maquina en un período menor a un año, con un valor actual de BsF. 10.773.447,9 en un tiempo de estudio igual a 10 años.





---

## RECOMENDACIONES

Realizar periódicamente la revisión y mantenimiento de las partes del sistema automatizado, tomando en consideración: calidad del aire, presión de suministro, limpieza de sensores, actuadores, calibración o ajuste y así asegurar un óptimo funcionamiento.

Aumentar la longitud de los rodillos transportadores N° 1, permitirá una acumulación de paletas llenas en espera del despaletizado y a consecuencia de esto el montacargas podrá ocuparse de otra área.

Realizar las pruebas de campo pertinentes al momento de poner en funcionamiento el equipo, con el fin de ajustar las velocidades de los elementos del mismo (actuadores, elementos de transporte) y así obtener una velocidad óptima de operación en función a la producción de la línea.

Realizar pruebas de campo para establecer la ubicación exacta y distancias de detección de los sensores del sistema para garantizar el buen funcionamiento del sistema.

Estudiar la posibilidad de implementar equipos para el despaletizado y/o paletizado de envases en las demás líneas de producción, basándose en el diseño mostrado en este trabajo y de esta manera aumentar la operatividad general de la planta.





## BIBLIOGRAFÍA

1. SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles; (2002), Diseño en ingeniería mecánica, McGraw Hill, Sexta Edición.
2. NORTON, Robert L.; (1999), Diseño de Maquinas, Prentice Hall, Primera Edición.
3. GIUGNI, Luz y ETTEDGUI, Corina; (2003), Evaluación de proyectos de inversión, Universidad de Carabobo, Segunda Edición.
4. Catálogo de Festo, año 1998.
5. <http://www.bcv.org.ve>
6. <http://www.sapiens.com>
7. <http://www.festo.com>
8. <http://www.ing.uc.edu.ve/aulavirtual/>





## APÉNDICES





---

## Apéndice A

### Cálculo del peso de las paletas

#### **Latas pequeñas:**

Peso (gr/unidad): 27,5 gr

Peso total de latas:  $27,5 * 9360 \text{ latas/paleta} = 257400 \text{ gr} = 257,4 \text{ Kg}$

Peso lámina de cartón: 825 gr

Peso total de cartón:  $825 * 26 \text{ pisos} = 21450 \text{ gr} = 21,45 \text{ Kg}$

Peso paleta vacía: 33 Kg

Peso total paleta llena: 311,85 Kg

#### **Latas medianas:**

Peso (gr/unidad): 35,67 gr

Peso total de latas:  $35,67 * 5760 \text{ latas/paleta} = 205459,2 \text{ gr} = 205,46 \text{ Kg}$

Peso lámina de cartón: 825 gr

Peso total de cartón:  $825 * 16 \text{ pisos} = 13200 \text{ gr} = 13,2 \text{ Kg}$

Peso paleta vacía: 33 Kg

Peso total paleta llena: 251,66 Kg

#### **Latas grandes:**

Peso (gr/unidad): 60,8 gr

Peso total de latas:  $60,8 * 3744 \text{ latas/paleta} = 227635,2 \text{ gr} = 227,64 \text{ Kg}$

Peso lámina de cartón: 825 gr

Peso total de cartón:  $825 * 13 \text{ pisos} = 10725 \text{ gr} = 10,73 \text{ Kg}$

Peso paleta vacía: 33 Kg

Peso total paleta llena: 271,37 Kg



## Apéndice B

### B.1 Cálculo estructural “Estructura N° 1”

La carga a soportar por la estructura N° 1 será de unos 310 kg. y esta comprendida por el cabezal magnético, una capa de latas y accesorios tales como tornillería. Para el ángulo N° 1 los diagramas de cuerpo libre, corte y momento serán los observados en la figura B.1.

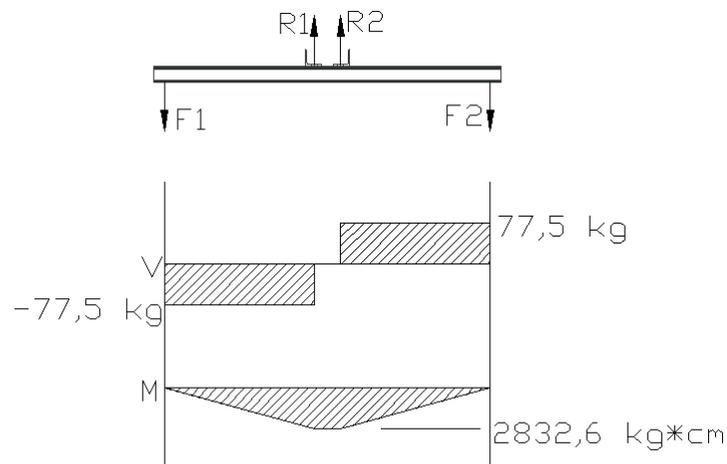


Figura B.1. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento.  $F_T=310$  kg,  $F_1=F_2=F_T/4=77,5$  kg.

Aplicando:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{2832,6 \text{ (kg} \cdot \text{cm)} \cdot 2,88 \text{ (cm)}}{4,48 \cdot \text{cm}^4} = 1820,95 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:  $\sigma$  = *esfuerzo máximo a flexión*

$M$  = *momento máximo*

$c$  = *distancia del centro a la fibra mas alejada*

$I$  = *segundo momento de inercia.*

Con un  $S_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $\sigma < S_y$  y por lo tanto el ángulo N°1 resiste la carga. (El valor de  $S_y$  se obtuvo del anexo N° 11).

Debido a que el ángulo N° 2 es más corto no es necesario realizar el cálculo de este ya que soportará la misma carga que el ángulo N° 1 y por lo tanto el valor de  $\sigma$  será menor.

La unión entre el ángulo N° 1 y N° 2 se realizará mediante un arco de soldadura a filete. El patrón de soldadura se puede observar en la figura B.2.

La soldadura se realizará utilizando el método del código de soldadura [1]. Basando el diseño en un estado de esfuerzos flexión con un patrón de soldadura como el que se observa en la figura N° 5.2. Adicionalmente se ha seleccionado un electrodo E90XX el cual posee una resistencia a la tensión 90 kpsi (620 MPa), un límite elástico 77 kpsi (531 MPa) y un  $\tau_{perm} = 27 \text{ kpsi}$ , el espesor máximo de la soldadura será de 1/8".

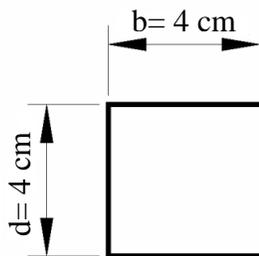


Figura B.2. Patrón de soldadura en la unión de los ángulos N° 1 y N° 2.

Determinando el área de la garganta del cordón de soldadura:

$$A = 0,707h(2b + d) = 0,707h(2(4) + 4) = 8,48h \text{ cm}^2$$

En donde:

A= área transversal del cordón de soldadura.



b y d = longitudes del cordón.

h= altura de la garganta del cordón.

Determinando el segundo momento del área unitario (Iu):

$$I_u = \frac{d^2}{12} x(6b + d) = \frac{(4)^2}{12} x(6(4) + (4)) = 37,4 \text{ cm}^3$$

Determinando el segundo momento de inercia (I):

$$I = 0,707 \cdot I_u \cdot h = 0,707 \cdot 37,4 \cdot h = 26,4 \cdot h \text{ cm}^4$$

Determinando el cortante primario del cordón de soldadura:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{77,5 \text{ kg}}{8,48h \text{ cm}^2} = \frac{9,14}{h} \text{ kg/cm}^2$$

En donde:

*V = fuerza cortante*

*A = área total de la garganta*

Determinando el cortante secundario del cordón de soldadura:

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{2832,6 \text{ (kg} \cdot \text{cm)} \cdot 2 \text{ (cm)}}{26,4 \cdot h \text{ cm}^4} = \frac{214,6}{h} \text{ kg/cm}^2$$

En donde:

*M = momento máximo*

*c = distancia del centro a la fibra mas alejada*

*I = segundo momento de inercia.*



Determinando el cortante total ( $\tau$ ) como:

$$\tau = \tau' + \tau'' = \frac{9,14}{h} + \frac{214,6}{h} = \frac{224,9}{h} \text{ kg/cm}^2 = \frac{3,2}{h} \text{ kpsi/plg}^2$$

Sustituyendo  $\tau_{\text{per}}$  se despeja  $h$

$$h = \frac{3,2 \text{ kpsi/plg}^2}{t_{\text{per}}} = \frac{3,2}{27} = 0,118''$$

Comparando con el espesor máximo de soldadura de  $1/8'' > 0,118''$  lo que nos indica que si es resistente el cordón de soldadura.

## B.2 Cálculo estructural “Estructura N° 2”

La carga a soportar por la estructura N° 2 estará comprendida por el cabezal magnético, una capa de latas, los actuadores 2.0 y 4.0, el sistema de vacío y accesorios tales como tortillería. A continuación se muestran los diagramas de cuerpo libre, corte y momento del ángulo N° 1 (ver figura B.3) y del ángulo N° 2 (ver figura B.4).

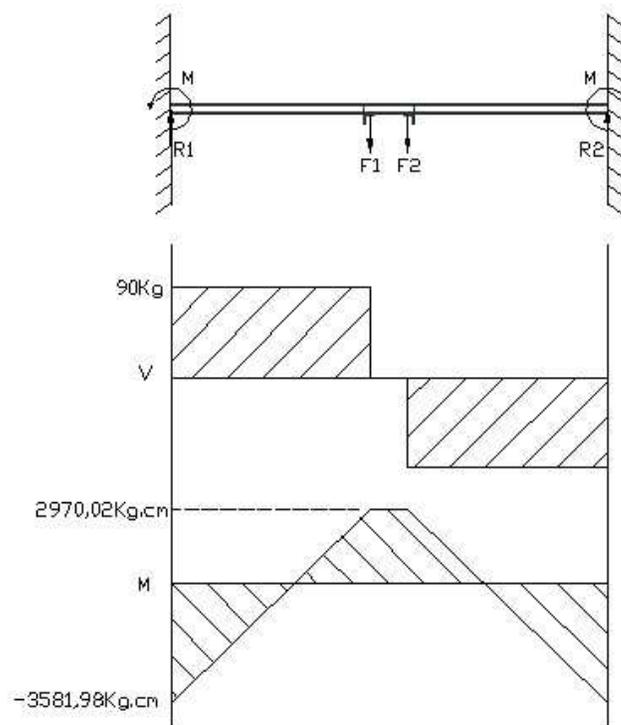


Figura B.3. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento, ángulo N° 1.

$$F_T=360 \text{ kg}, F_1=F_2=F_T/4=90 \text{ kg}.$$

Obteniendo el valor de  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{M}{z} = \frac{3581,98}{3,01} = 1190,3 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Con un  $S_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $\sigma < S_y$  y por lo tanto el ángulo N° 1 resiste la carga. (El valor de  $S_y$  se obtuvo del anexo N° 11.)

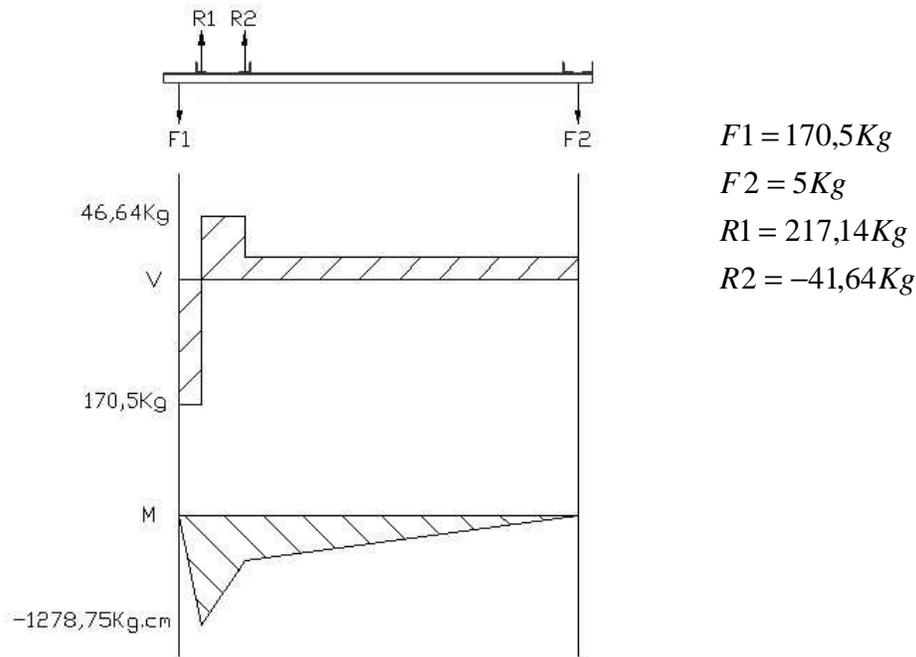


Figura N° B.4. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento, ángulo N° 2.

Obteniendo el valor de  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{M}{z} = \frac{1278,75}{3,01} = 424,83Kg/cm^2$$

Con un  $S_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $\sigma < S_y$  y por lo tanto el ángulo N° 2 resiste la carga.

La unión entre el ángulo A y B se realizará mediante un arco de soldadura a filete. El patrón de soldadura se puede observar en la figura B.5.

La soldadura se realizará con el patrón que se observa en la figura N° 5.3. Adicionalmente se ha seleccionado un electrodo E90XX. El espesor máximo de la soldadura será de 1/8”.

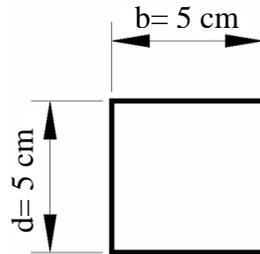


Figura B.5. Patrón de soldadura en la unión de los ángulos A y B

Determinando el área de la garganta del cordón de soldadura:

$$A = 0,707h(2b + d) = 0,707h(2(5) + 5) = 10,605h \text{ cm}^2$$

Determinando el segundo momento del área unitario ( $I_u$ ):

$$I_u = \frac{d^2}{12}x(6b + d) = \frac{(5)^2}{12}x(6(5) + (5)) = 72,92 \text{ cm}^3$$

Determinando el segundo momento de inercia ( $I$ ):

$$I = 0,707 \cdot I_u \cdot h = 0,707 \cdot 72,92 \cdot h = 51,55 \cdot h \text{ cm}^4$$

Determinando el cortante primario del cordón de soldadura:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{170,5 \text{ kg}}{10,605h \text{ cm}^2} = \frac{16,07}{h} \text{ kg/cm}^2$$



Determinando el cortante secundario del cordón de soldadura:

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{1278,75 (kg \cdot cm) \cdot 2,5 (cm)}{51,55 \cdot h \text{ cm}^4} = \frac{61,9}{h} \text{ kg/cm}^2$$

Determinando el cortante total ( $\tau$ ) como:

$$\tau = \tau' + \tau'' = \frac{16,07}{h} + \frac{61,9}{h} = \frac{77,97}{h} \text{ kg/cm}^2 = \frac{3,21}{h} \text{ kpsi/plg}^2$$

Sustituyendo  $\tau_{per}$  se despeja  $h$

$$h = \frac{1,1 \text{ kpsi/plg}^2}{\tau_{per}} = \frac{1,1}{27} = 0,04''$$

Comparando con el espesor máximo de soldadura de  $1/8'' > 0,04''$  lo que nos indica que si es resistente el cordón de soldadura.

### B.3 Cálculo estructural, “estructura N° 3”

La carga a soportar por la estructura N° 3 estará comprendida por el sistema de vacío, el cartón y accesorios tales como tornillería. Para el cálculo se seleccionó la pletina A ya que soportara la mayor carga. Los diagramas de cuerpo libre, corte y momento serán los observados en la figura B.6.

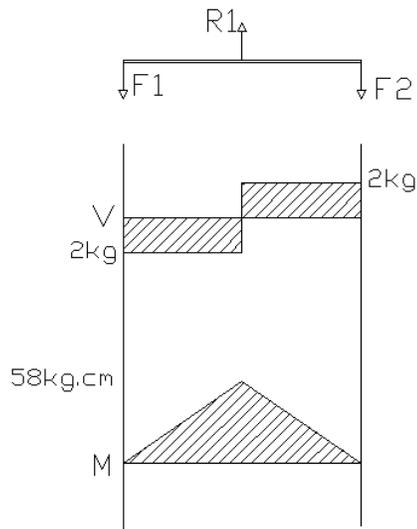


Figura B.6. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento de la pletina A.  $FT=360$  kg,  
 $F1=F2=FT/2=2$  kg.

Obteniendo el valor de  $\sigma$ :

$$\sigma = 1359,04 \text{ kg/cm}^2$$

Con un  $Sy = 2500 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $\sigma < Sy$  y por lo tanto la pletina A resiste la carga.

La unión entre la pletina A y las pletinas B se realizará mediante un arco de soldadura a filete. El patrón de soldadura se puede observar en la figura B.7.

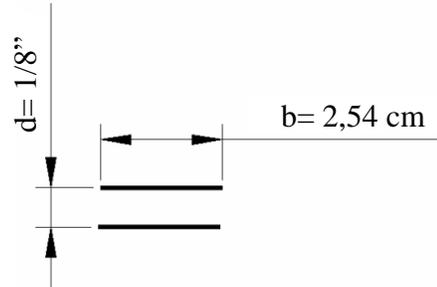


Figura B.7. Patrón de soldadura en la unión de las pletinas A, B y C

Debido a la baja masa del sistema de ventosas (aproximadamente 2 kg.) y las pletinas (aproximadamente 2 kg), se ha omitido el cálculo de la soldadura y se utilizará el electrodo 90XX que se ha utilizado anteriormente con el fin de estandarizar el uso del electrodo.

### B.4 Cálculo estructural, “estructura N° 4”

En la figura B.8 se observa el diagrama de cuerpo libre, corte y momento de una sola pletina, la carga a soportar por cada pletina será de uno 122,5kg.

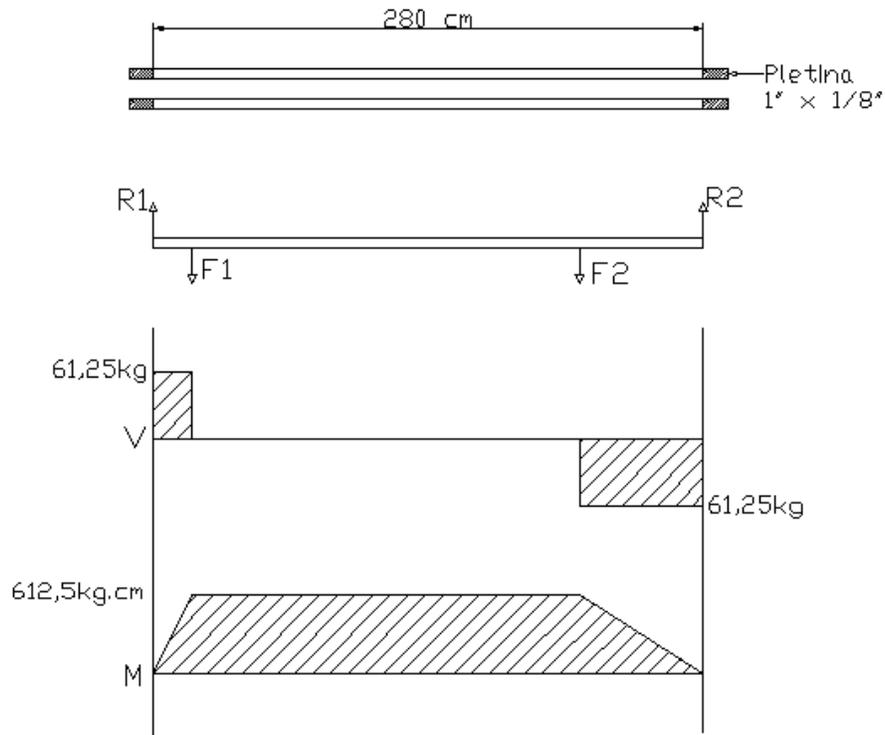


Figura N° B.8. Diagrama de cuerpo libre, corte y momento.  $F_T=122.5$  kg,  $F_1=F_2=F_T/2=61,25$  kg.

Obteniendo el valor de  $\sigma$ :

$$\sigma = 1794,1 \text{ kg/cm}^2$$

Con un  $S_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $\sigma < S_y$  y por lo tanto las pletinas soportan la carga.

En la figura B.9 se observan las dimensiones de cada columna, las cuales soportarán a las pletinas. Está se diseño mediante la razón de esbeltez debido a su longitud.

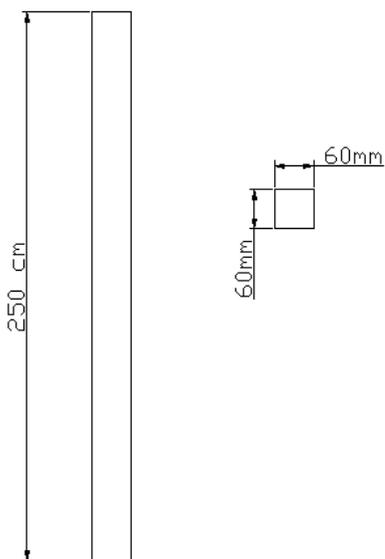


Figura B.9. Columna de soporte.

El esfuerzo esta dado por la relación de esbeltez:

$$\frac{P}{A} = \frac{S_{yc}}{1 + \left(\frac{e \cdot c}{k^2}\right) \cdot \sec\left(\frac{l_{ef}}{k} \cdot \sqrt{\frac{P}{4EA}}\right)}$$

Donde:

$P =$  Carga

$e =$  exentricidad

$c =$  distancia del centro a la fibra mas alejada

$k =$  radio de giro

$l_{ef} =$  longitud efectiva =  $l \times 2,1$

$E =$  modulo de Young =  $209,8 \times 10^{-9} Pa$

$S_{yc} = 3.515 \text{ kgf} / \text{cm}^2$

$$A = 11,33 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo:

$$\frac{P}{11,33} = \frac{3515}{1 + \left(\frac{5 \cdot 10}{3,93^2}\right) \cdot \sec\left(\frac{499}{3,93} \cdot \sqrt{\frac{P}{4 \cdot E \cdot 11,33}}\right)}$$

$$P = 1486,64 \text{ kgf}$$

Con un  $P_{ad} = 5786,62 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene que  $P < P_{ad}$  y por lo tanto la columna resiste la carga.

La unión entre las pletinas y las columnas se realizara mediante soldadura con el diseño que se observa en la figura B.10. Adicionalmente se ha seleccionado un electrodo E90XX. El espesor máximo de la soldadura será de 1/8”.

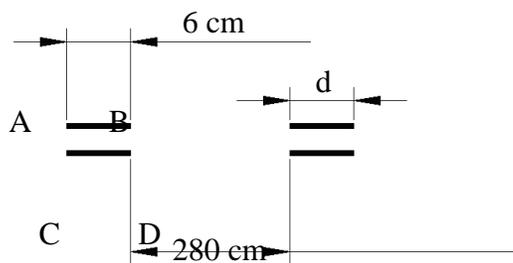


Figura B.10. Patrón de soldadura en la unión de las pletinas y las columnas.

Utilizando el caso de torsión como el de peor de las condiciones tenemos:

$$A = 2 \cdot 1,44 \cdot h \cdot d = 2 \cdot 1,44 \cdot h \cdot 6 = 16,968 \cdot h \text{ cm}^2$$

Determinando el cortante primario del cordón de soldadura:

$$\tau^s = \frac{V}{A} = \frac{122,5 \text{ kg}}{16,98h \text{ cm}^2} = \frac{7,2 \text{ kg}}{h} \text{ cm}^2 = \frac{0,1 \text{ kpst}}{h} \text{ plg}^2$$



Sustituyendo  $\tau_{per}$  se despeja  $h$

$$h = \frac{0,1 \text{ kpsi} / plg^2}{t_{per}} = \frac{0,1}{27} = 0,004''$$

Comparando con el espesor máximo de soldadura de  $1/8'' > 0,004''$  lo que nos indica que si es resistente el cordón de soldadura.

## Apéndice C

### Diseño del Sistema Acumulador de Paletas

#### - Pletinas

Para llevar a cabo el diseño de las pletinas que van a elevar las paletas vacías, se va a considerar la condición más crítica, cuando la pletina esté completamente horizontal y esté soportando el peso de 8 paletas, que será el valor máximo de paletas a acumular, tal como se muestra en la figura C.1.

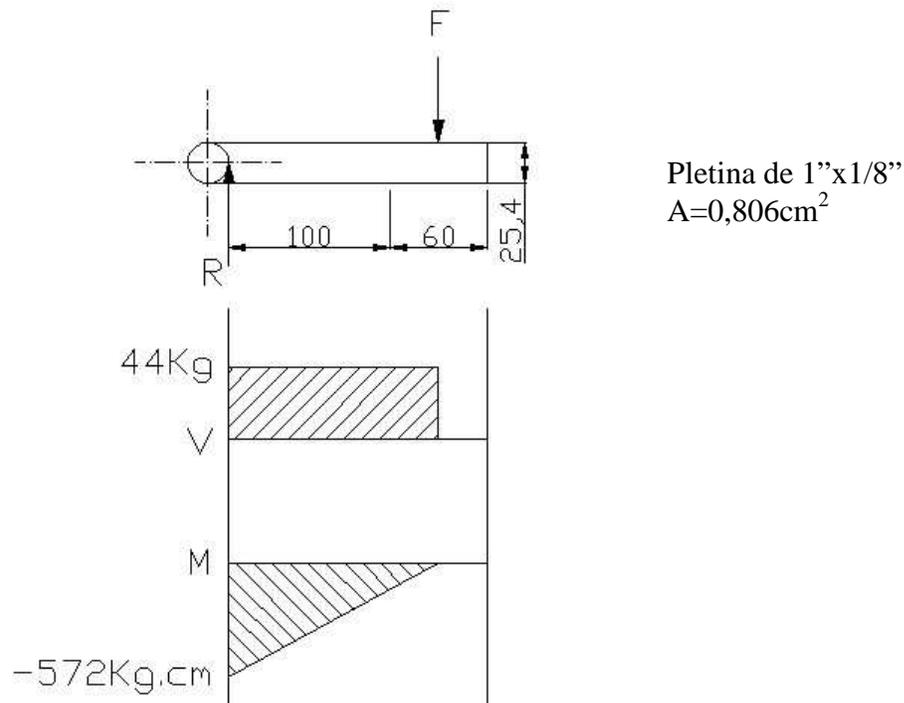


Figura C.1. Diagrama de cuerpo libre, pletinas elevadoras.  $FT=264\text{ kg}$ ,  $F=FT/6=44\text{ kg}$ .

Diseñando a flexión se tiene que:

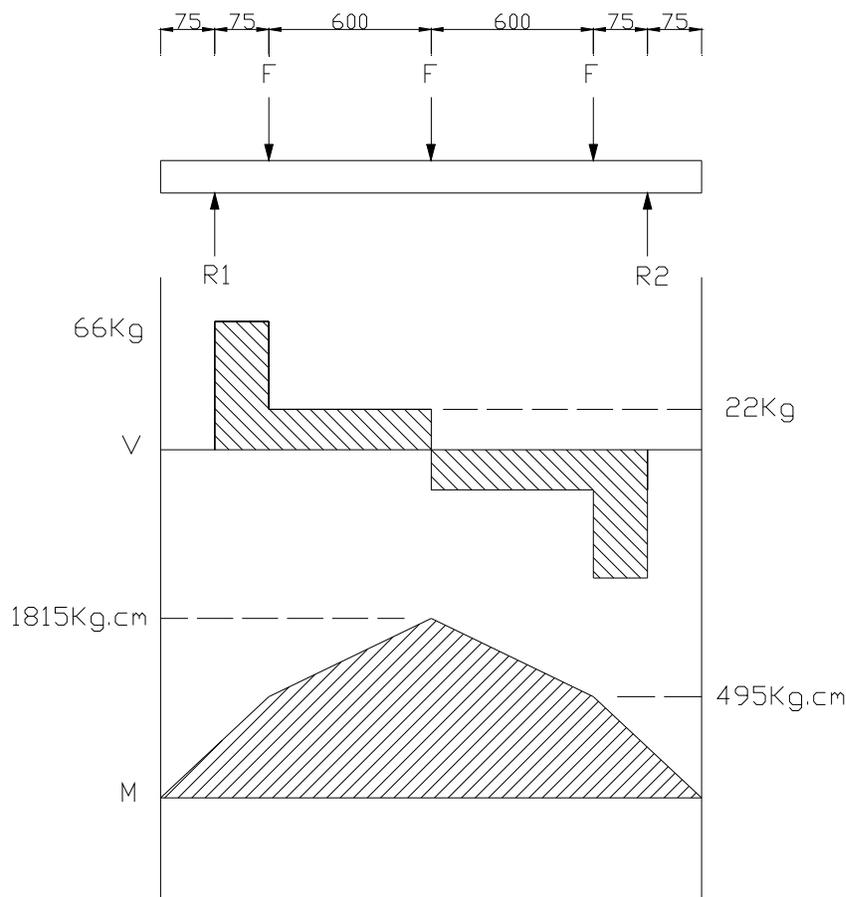
$$\sigma = 1675,46\text{Kg} / \text{cm}^2$$



El valor del esfuerzo es menor al  $S_y$  del material de las pletinas, lo que quiere decir que soportarán la carga de las paletas.

- Ejes:

El diseño de los ejes se hará estáticamente, debido a las condiciones de funcionamiento del sistema, ya que el eje gira solo  $90^\circ$  cada vez que llega una paleta vacía. En la figura C.2 se muestran los diagramas de cuerpo libre, corte y momento del eje en cuestión.



Acero AISI 1045  
laminado en  
caliente.

$$S_y = 310 \text{ Mpa} = 3161,12 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F = 44 \text{ Kg}$$

$$R_1 = R_2$$

$$R_1 - 3 \times 44 + R_1 = 0$$

$$R_1 = 66 \text{ Kg} = R_2$$

Figura N° C.2 Diagrama de cuerpo libre, ejes sist. acumulador.



El diámetro mínimo del eje es de 1", ya que este es el ancho de las pletinas. Ahora verificamos si el eje resiste la carga con esta medida del diámetro.

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{M \times \left(\frac{D}{2}\right)}{\frac{\pi \times D^4}{64}} = \frac{1815 \times \frac{2,54}{2}}{\frac{\pi \times 2,54^4}{64}} = 1128,17 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Como se puede observar  $\sigma < S_y$ , por lo que el eje de 1" de diámetro soportará la carga (el valor de  $S_y$  para el acero 1045 se obtuvo del libro Diseño de Máquinas de Robert L. Norton, pag. 998).

- Chumaceras:

Del catálogo de chumaceras de SKF (ver anexo N° 2), obtenemos que para el rodamiento seleccionado el valor de la carga estática permisible es de 1470 lbf. Ahora determinaremos el valor de la carga de trabajo de cada chumacera y la comparamos con la carga estática.

El peso que soportará cada chumacera será igual a:

$$P = \frac{P_{paletas}}{2} + P_{peje}$$

$$P_{paletas} = 33 \times 8 = 264 \text{ Kg}$$

$$P_{peje} = V_{peje} \times \rho_{acero}$$

$$V_{peje} = \pi \times r^2 \times l = \pi \times (0,0127)^2 \times 1,5 = 7,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho_{acero} = 7800 \text{ Kg} / \text{m}^3 \quad [2]$$

$$P_{peje} = 5,93 \text{ Kg}$$

$$P = \frac{264}{2} + 5,93 = 137,93 \text{ Kg} = 308,65 \text{ lbf}$$



Como se puede observar, el valor de P es mucho menor que la carga estática permisible, por lo que si puede soportar la carga.

- Motores:

Determinación de Fuerza motriz y Potencia del sistema:

Velocidad de elevación: se considera una velocidad de movimiento de la carga de:

$$V=0,5 \text{ m/s}=6 \text{ m/min}$$

Velocidad rotacional del acumulador:

$$N = \frac{V}{R_p} = \frac{6 \text{ m/min}}{0,16 \text{ m}} = 37,5 \text{ rad/min} \times 1 \text{ rev}/2\pi = 5,97 \text{ rpm}$$

Donde:

V: velocidad elevación de la paleta

$R_p$ : Radio del extremo del eje

Diagramas de cuerpo libre:

Teniendo en cuenta un total de 8 paletas sobre el acumulador, el diagrama de cuerpo libre será el observado en la figura C.1.

Haciendo sumatoria de fuerzas en el eje de las x:

$$\rightarrow +\Sigma F = m \times a$$

Aceleración para un tiempo de estabilización de  $t_{est}=1 \text{ s}$

$$a = \frac{V}{t_{est}} = \frac{0,1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 0,1 \text{ m/s}^2$$



$$F - P = m \times a$$

$$F = P + m \times a = 1294,5 \text{ N} + (132 \text{ kg} \times 0,1 \text{ m/s}^2) = 1307,7 \text{ N}$$

Potencia del sistema:

$$Pot_{sist} = F \cdot S \times Fm \times V$$

$$Pot_{sist} = 1,25 \times 1307,7 \text{ N} \times 0,1 \text{ m/s} = 163,5 \text{ W} = 0,21 \text{ hp}$$

F.S: Factor de servicio

- Selección del motor:

De la tabla de motores eléctricos (ver anexo N° 13), se selecciona un motor con una potencia de 0,75 hp, de esta manera se cubren las pérdidas mecánicas y eléctricas que puedan ocurrir en el proceso de transmisión de potencia y poder trabajar cómodamente sin peligros de recalentamiento.

Características del motor:

Motoreductor a 90°

Marca: CM

Modelo: CM-090-U

Potencia: 0,75 hp

RPM: 1750 rpm

RT: 100:1

Voltaje=220/440V





## Apéndice D

### Aproximación de la velocidad de la despaletizadora

Es necesario conocer una aproximación de la velocidad que podría alcanzar la despaletizadora, por lo que se obtuvo la velocidad mediante las siguientes suposiciones:

- Se considerará la velocidad de la despaletizadora obteniendo el número de latas que se puede extraer en un minuto.
- Se utilizará las latas con diámetro de 2,11 para aproximar la velocidad.
- Las velocidades de los actuadores serán las mínimas recomendadas
- La velocidad se obtendrá sumando los tiempos que se generan al extraer la última camada de latas, desde que el cabezal se encuentra sobre las latas, hasta que retorne a la misma posición.

Los tiempos son los siguientes:

1. Extensión del vástago del actuador 2.0 (el cabezal se acerca a la paleta):  
 $t = 1,5 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 15 \text{ s}$ .
2. Extensión del vástago del actuador 3.0 (se activa el cabezal magnético, se toman las latas):  
 $t = 0,15 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 1,5 \text{ s}$
3. Retracción del vástago del actuador 2.0 (el cabezal se aleja de la paleta):  
 $t = 1,5 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 15 \text{ s}$
4. Movimiento de los actuadores 5.0 y 6.0 hacia la banda transportadora:  
 $t = 1,3 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 13 \text{ s}$
5. Extensión del vástago del actuador 2.0 (el cabezal se acerca a la banda transportadora):  
 $t = 0,5 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 5 \text{ s}$ .



6. Retracción del vástago del actuador 3.0 (se desactiva el cabezal magnético, se sueltan las latas):

$$t = 0,15 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 1,5 \text{ s}$$

7. Retracción del vástago del actuador 2.0 (el cabezal se aleja de la banda transportadora):

$$t = 0,5 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 5 \text{ s}$$

8. Movimiento de los actuadores 5.0 y 6.0 hacia la paleta vacía:

$$t = 1,3 \text{ m} / 0,1 \text{ m/s} = 13 \text{ s}$$

El tiempo total extracción será igual a la suma de los movimientos anteriores:

Tiempo total: 69 s.

Latas extraídas: 360 latas

Velocidad: 313 latas/min.

El resultado nos indica que fácilmente se puede superar una velocidad de 180 latas/min, por lo que es posible un aumento futuro de producción en tal caso de ser necesario.



## **ANEXOS**

