



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO
EN UNA BANDA TRANSPORTADORA PARA APLICACIONES DE
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

AUTORES:

ARTEAGA SOTO, MARÍA BELÉN

NENGER ARBOLEDA, ANDRÉS JAVIER

DIRECTOR: ING. IBARRA JÁCOME, OSWALDO ALEXANDER MGs.

SANGOLQUÍ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO EN UNA BANDA TRANSPORTADORA PARA APLICACIONES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”*** fue realizado por los señores ***ARTEAGA SOTO, MARÍA BELÉN*** y ***NENGER ARBOLEDA, ANDRÉS JAVIER***, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 21 de enero del 2019

ING ALEXANDER IBARRA, MGs

C.C.: 1719535427



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ARTEAGA SOTO, MARÍA BELÉN** y **NENGER ARBOLEDA, ANDRÉS JAVIER**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO EN UNA BANDA TRANSPORTADORA PARA APLICACIONES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionado es veraz.

Sangolquí, 21 de enero del 2019



ARTEAGA SOTO MARÍA BELÉN

C.C.: 1724971641



NENGER ARBOLEDA ANDRÉS JAVIER

C.C.: 1720946001



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ARTEAGA SOTO, MARÍA BELÉN** y **NENGER ARBOLEDA, ANDRÉS JAVIER**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO EN UNA BANDA TRANSPORTADORA PARA APLICACIONES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 21 de enero del 2019

ARTEAGA SOTO MARÍA BELÉN

C.C.: 1724971641

NENGER ARBOLEDA ANDRÉS JAVIER

C.C.: 1720946001

DEDICATORIA

Empiezo por dedicar el presente trabajo a mí misma, por el esmero y la dedicación puestos, sabiendo finalmente que el esfuerzo ha dado frutos, y ahora junto con Andrés, mi compañero de trabajo, hemos sido merecedores de haber finalizado esto exitosamente. También dedico esto a mis padres, Hugo y Laura quienes han sido los motores en mi vida y fieles testigos de mi esfuerzo realizado a lo largo de la carrera; a mis hermanos, Sebastián y Laura quienes en cada momento no dejaron de darme aliento, y entre bromas y juegos, me han hecho entender que puedo hacer cualquier cosa si me lo propongo.

María Belén Arteaga

DEDICATORIA

Dedico directamente este trabajo a mis padres Humberto y María, por todo el esfuerzo y sacrificio por parte de ellos, que son el motor principal de mi vida gracias a ellos he logrado culminar mis estudios de pregrado, a mis hermanos; Richard por sus palabras y consejos, Iliana por la compañía, Catalina por ser mi confidente, Israel por ser la alegría del hogar.

A los demás familiares que aportaron con su granito de arena.

A los amigos de la carrera y de la vida, Santiago, Pamela, David. Que pasamos más de la mitad de la carrera sufriendo juntos.

Andrés Nenger

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida por permitirme este logro, a mis padres y hermanos por haber sido mi más grande apoyo, a mis amigos que siempre estuvieron pendientes dándome sus palabras de aliento, a Andrés, mi compañero de tesis, él bien sabe todo el esfuerzo puesto y por el apoyo mutuo que hubo a lo largo de proyecto, a mis compañeros de aulas con quienes compartí tantas experiencias que serán inolvidables, a los profesores quienes no solo me dieron conocimiento acerca de mi carrera, sino que también me enseñaron a crecer como persona, al Ejército Ecuatoriano por su colaboración en la realización del proyecto, al departamento de Eléctrica y Electrónica por habernos dado la confianza para realizar este proyecto, a los Ing. Roberty Velasco y Lenin Abatta por su apoyo incondicional y desinteresado, a Don Car que ha llegado a ser una persona muy importante para mí, que estimo y respeto demasiado, y doy gracias a la vida por haber puesto una persona tan especial en mi camino, por sus palabras, su ayuda incondicional y apoyo total a lo largo del proyecto. A todos ellos y cada una de las personas que hicieron esto posible, gracias.

María Belén Arteaga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por la paciencia que me ha tenido,

A las Fuerzas Armadas del Ecuador por la ayuda en la construcción de algunos elementos del mecanismo.

A todos los ingenieros que han aportado en poca o gran medida para el desarrollo y culminación de la carrera universitaria y finalización del proyecto.

A don Carsito, y al Ing. Roberty Velasco, por las enseñanzas y paciencia para la construcción del mecanismo.

Agradezco a mi compañera de tesis María Belén Arteaga por todo este tiempo haber convivido, y soportarnos mutuamente.

Andrés Nenger

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e importancia	2
1.3. Alcance	5
1.3.1. Descripción	5
1.3.2. Diseño de componentes	6
1.4. Objetivos	11
1.4.1. Objetivo General	11
1.4.2. Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO II	12
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
2.1. Automatización industrial	12
2.1.1. Introducción	12
2.1.2. Evolución	12
2.1.3. Automatismos industriales	14
2.1.4. Sistemas de fabricación	15
2.1.5. Jerarquía de un sistema de automatización	18
2.1.6. Tipos de sistemas de automatización de procesos industriales	20
2.1.7. Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización	22

2.1.8. Ventajas y beneficios de la automatización industrial	24
2.2. Diseño concurrente	26
2.2.1. Introducción.....	26
2.2.2. Ingeniería concurrente en diseño de producto	27
2.2.3. Integración de perspectivas	28
2.2.4. Definición de ingeniería concurrente.....	29
2.2.5. Principales orientaciones de la ingeniería concurrente	33
2.3. Proceso de envasado de líquidos.....	35
2.3.1. Introducción.....	35
2.3.2. Llenado de Líquidos	36
2.3.3. Principales elementos que forman una línea de envasado.....	37
CAPÍTULO III	42
DESARROLLO DEL SISTEMA.....	42
3.1. Generación de conceptos.....	42
3.2. Selección de conceptos.....	43
3.3. Diseño mecatrónico.....	44
3.3.1. Diseño de los componentes mecánicos	44
3.3.2. Diseño sistema neumático	96
3.3.3. Diseño de eléctrico y electrónico	105
3.3.4. Diseño de componentes del sistema de control	119
3.3.5. Diseño de la interfaz de humano-máquina.....	120
3.4. Implementación	122
3.4.1. Implementación de los componentes mecánicos.....	122
3.4.2. Implementación de los componentes electrónicos	135
3.4.3. Implementación del sistema de control	140
3.4.4. Programación e implementación del proceso industrial demostrativo	140
CAPÍTULO IV	155
PRUEBAS Y RESULTADOS	155
4.1. Desarrollo del protocolo de pruebas	155
4.1.1. Prueba mecánica	155
4.1.2. Prueba electrónica.....	156

4.1.3. Pruebas neumáticas	157
4.2 Pruebas	158
4.3 Análisis de Resultados	163
CAPÍTULO V	164
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	164
5.1 Conclusiones	164
5.2 Recomendaciones	166
CAPÍTULO VI	167
ANEXOS	170
ANEXOS 1	170
MANUAL DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO	170
ANEXOS 2	171
PLANOS	171
ANEXOS 3	172
ESQUEMAS	172
ANEXOS 4	173
PROTOCOLO DE PRUEBAS	173
ANEXOS 5	174
COSTOS	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Banda transportadora ubicada en el Laboratorio de Control industrial.	5
Figura 2. Motor y reductor unidireccional de la banda.	7
Figura 3. Estación de trabajo.	8
Figura 4. Layout de la banda transportadora y sus módulos.	8
Figura 5. Sistema de frenado.	10
Figura 6. Tablero de control.	10
Figura 7. Línea de tiempo de la evolución industrial (Fuente: www.idia.es)	14
Figura 8. Diseño y Automatización Industrial (Fuente: Tompkins, 2006)	15
Figura 9. Pirámide de automatización (Fuente: www.ustabuca.edu.co)	19
Figura 10. Automatización fija (Fuente: www.exsol.com.ar)	21
Figura 11. Automatización programable (Fuente: www.industriales.ws)	21
Figura 12. Automatización flexible (Fuente: www.lvdgroup.com)	22
Figura 13. Fases de un proyecto de automatización (Fuente: Granollers & Ponsa, 2013)	23
Figura 14. La curva S de la evolución de la tecnología	26
Figura 15. Ingeniería concurrente en el diseño de producto	28
Figura 16. Sistema de envasado (Fuente: www.puritronic.com.mx)	37
Figura 17. Taponadora semiautomática (Fuente: www.solempack.com)	39
Figura 18. Etiquetadora de botellas cilíndricas (Fuente: http://plaspak.cl)	40
Figura 19. Sistema de empaquetamiento de botellas de vino (Fuente: www.catadelvino.com) ...	41
Figura 20. Concepto A	42
Figura 21. Concepto B	43
Figura 22. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano Y	53
Figura 23. Diagrama fuerza cortante del primer eje en el plano Y	53
Figura 24. Diagrama de momento cortante del primer eje en el plano Y	54
Figura 25. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano X	54
Figura 26. Diagrama de fuerza cortante en el primer eje plano X.	55
Figura 27. Diagrama momento flector en el primer eje plano X.	55
Figura 28. Esquema de fuerzas que actúan sobre el segundo eje plano Y	56
Figura 29. Diagrama de fuerza cortante en el segundo eje plano Y	57
Figura 30. Diagrama momento flector en el segundo eje plano Y	58
Figura 31. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano X	58
Figura 32. Diagrama de fuerza cortante en el segundo eje plano X	59
Figura 33. Diagrama momento flector en el segundo eje plano X	59
Figura 34. Tabulación de la condición superficial del elemento.	61
Figura 35. Tabulación de datos del factor de temperatura (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008) ...	62
Figura 36. Tabulación del factor de confiabilidad (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)	63
Figura 37. Selección del valor de carga dinámica para un rodamiento de $\phi i20$ mm	67

Figura 38. Posicionamiento y profundidad de cuñas y cuñeros (Fuente: Intermec)	69
Figura 39. Cuñas y cuñeros disponibles en el mercado nacional (Fuente: Intermec)	69
Figura 40. Tornillo Pasador (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)	71
Figura 41. Capacidades en hp - cadena simple de rodillos 40 (Fuente: Mott, 2006)	73
Figura 42. Catálogo de catalinas (Fuente: Translink, 2018)	75
Figura 43. Transmisión directa.	76
Figura 44. Transmisión reversa.....	77
Figura 45. Engrane de transmisión de potencia originario de la banda.	79
Figura 46. Equipo de escaneo en 3D.....	80
Figura 47. Escaneo 3D de acople perteneciente a la banda	80
Figura 48. Renderizado de engrane de transmisión.	81
Figura 49. Análisis de Von Mises sobre el elemento escaneado	82
Figura 50. Impresión 3D del engrane escaneado.	82
Figura 51. Diseño de la segunda estación de trabajo en un software CAD.	85
Figura 52. Análisis de esfuerzos y deformaciones utilizando software CAD.....	86
Figura 53. Simulación de carga con software CAD, análisis de esfuerzos de Von Mises.....	86
Figura 54. Mallado Grueso (izq) - Mallado fino (der)	87
Figura 55. Convergencia de malla estación 2	87
Figura 56. Factor de seguridad de la estación 2	88
Figura 57. Diseño de la tercera estación de trabajo en un software CAD.....	89
Figura 58. Simulaciones de análisis de carga utilizando software CAD.	90
Figura 59. Resultados del análisis de Von Mises.....	90
Figura 60. Mallado Grueso (izq) - Mallado fino (der)	91
Figura 61. Convergencia de malla estación 3	91
Figura 62. Factor de seguridad para la estación 3	92
Figura 63. Diseño de la quinta estación de trabajo en un software CAD.	93
Figura 64. Simulaciones de análisis de carga utilizando software CAD.	93
Figura 65. Simulación de carga con software CAD, análisis de esfuerzos de Von Mises.....	94
Figura 66. Mallado grueso (izq) - Mallado fino (der).....	94
Figura 67. Convergencia de malla estación 5	95
Figura 68. Factor de seguridad para la estación 5	95
Figura 69. Pistón neumático.....	97
Figura 70. Longitud de tubería.....	101
Figura 71. Nomograma para hallar consumo de aire en pistones	103
Figura 72. Diagrama de fuerza.....	105
Figura 73. Disyuntor (Fuente: ABB, 2018)	106
Figura 74. Diámetro de los diferentes tipos de cable AWG (Fuente: DELTA, 2018).....	109
Figura 75. Funcionamiento de un sensor inductivo (Fuente: Hubot, 2016).....	109
Figura 76. Ejemplo de campo magnético. (Fuentes: Mecafenix, 2018)	110

Figura 77. Sensor inductivo (Fuente: electronic, 2018).....	111
Figura 78. Variador de Frecuencia Powerflex4 (Fuente: ABB, 2018)	112
Figura 79. Motor Trifásico utilizado en la banda transportadora (Fuente: Sale, 2018).	115
Figura 80. Fuente de alimentación 110VAC /24VDC (Fuente: Amazon, 2018).....	116
Figura 81. PLC Micrologix 1000.	117
Figura 82. PLC MicroLogix 1100.....	118
Figura 83. Diagrama controlador ON/OFF (Fuente: Bolton, 2014)	119
Figura 84. Diseño del HMI para el proceso de emulación de envasado de líquidos.	120
Figura 85. Simulación del proceso de envasado de líquidos.	121
Figura 86. Cilindrado de ejes.	122
Figura 87. Desbaste interno, cuchilla de interiores.	123
Figura 88. Fabricación de chavetas.	123
Figura 89. Fresado para la adaptación de chaveteros.	124
Figura 90. Refrentado y cilindrado de ejes.	124
Figura 91. Escaneado de bases originales banda transportadora.	125
Figura 92. Impresión del engrane en ABS.	126
Figura 93. Resultado final de la impresión 3D.....	126
Figura 94. Adaptación del engrane de plástico, eje y soporte para la banda transportadora.	127
Figura 95. Fresado de los soportes de plástico, para adaptar acoples.	127
Figura 96. Adaptación acoples para rodamientos.	128
Figura 97. Implementación del mecanismo para lograr el movimiento bidireccional.....	129
Figura 98. Estación de trabajo 1.....	130
Figura 99. Estación de trabajo 2.....	131
Figura 100. Estación de trabajo 3.....	131
Figura 101. Estación de trabajo 4.....	132
Figura 102. Estación de trabajo 5.....	133
Figura 103. Mantenimiento de los rieles de la banda transportadora.	133
Figura 104. Banda transportadora con rieles después de aplicada el mantenimiento.	134
Figura 105. Mecanismo de cambio de giro.	135
Figura 106. Tablero de control antes de ser reconectado.....	136
Figura 107. Reconexión de borneras.....	137
Figura 108. Placas controladoras pertenecientes a cada una de las estaciones.	137
Figura 109. Acoples nuevos para la tubería neumática.....	138
Figura 110. Tablero implementado.	139
Figura 111. Esquema de multiplexación de los sensores inductivos.	139
Figura 112. Sensor inductivo para la detección de presencia (Fuente: electronic, 2018)	140
Figura 113. Diagrama de flujo del proceso de envasado de dos líquidos A y B.	142
Figura 114. Creación de variables auxiliares del PLC 1100 en KepServer.	153
Figura 115. Creación de variables auxiliares del PLC 1100 en KepServer.	154

Figura 116. Creación de Tags Avanzadas para enlazar las variables auxiliares	154
Figura 117. Codificación de los pallets.....	159
Figura 118. Tiempos de ciclo resultantes en las primeras pruebas de envasados A y B	160
Figura 119. Tiempos de ciclo resultantes en las segundas pruebas de envasados A y B.....	161
Figura 120. Tiempos de ciclo resultantes en las terceras pruebas de envasados A y B.....	162
Figura 121. Tiempos de ciclo resultantes en las pruebas realizadas	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Elementos que componen una instalación automatizada</i>	17
Tabla 2. <i>Ventajas y beneficios de la automatización industrial</i>	24
Tabla 3. <i>Matriz de selección de conceptos</i>	43
Tabla 4. <i>Comparación de características entre aceros AISI 1018 y AISI 1040</i>	44
Tabla 5. <i>Reacciones en el primer eje plano Y</i>	53
Tabla 6. <i>Fuerzas del primer eje en el plano X</i>	54
Tabla 7. <i>Reacciones en el primer eje plano X</i>	55
Tabla 8. <i>Reacciones del segundo eje en el plano Y</i>	56
Tabla 9. <i>Fuerzas del segundo eje en el plano Y</i>	57
Tabla 10. <i>Fuerzas del segundo eje en el plano X</i>	58
Tabla 11. <i>Matriz QDF para la selección de material</i>	83
Tabla 12. <i>Orden de importancia de las características para el material base</i>	84
Tabla 13. <i>Longitudes en líneas de tubería</i>	101
Tabla 14. <i>Compatibilidad Motor VDF</i>	107
Tabla 15. <i>Parámetros de configuración de un Variador De Frecuencia</i>	114
Tabla 16. <i>Tabla de variables PLC AB Micrologix 1100</i>	143
Tabla 17. <i>Tabla de variables PLC AB Micrologix 1000</i>	145
Tabla 18. <i>Datos obtenidos en la primera prueba</i>	159
Tabla 19. <i>Datos obtenidos en la segunda prueba</i>	161
Tabla 20. <i>Datos obtenidos en la tercera prueba</i>	162

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el diseño e implementación de estaciones de trabajo en una banda transportadora para aplicaciones de automatización industrial. Para esto, se inició realizando una investigación acerca de procesos de automatización en la industria nacional e internacional, con tendencias a la industria 4.0. Después de esto se realizó el diseño de un mecanismo para lograr la bidireccionalidad de la banda transportadora ya que anteriormente trabajaba en una sola dirección. Mediante el uso de un driver para el motor de la banda y el mecanismo diseñado, se logró controlar la velocidad y el cambio de giro de la banda transportadora en cualquier instante que el proceso lo requiera. El diseño del mecanismo incluyó análisis estático y dinámico para comprobar su validez. Posterior a esto, se evaluó el tablero central que controlaba la banda para realizar un rediseño del cableado eléctrico y una implementación de elementos de control según los requerimientos del presente trabajo. De la misma manera, se realizó un nuevo conexionado en el sistema neumático. Finalmente, se construyeron estaciones de trabajo que fueron implementadas en la banda transportadora. Con todo esto, se procedió a evidenciar el trabajo realizado mediante un proceso industrial de envasado de líquidos.

PALABRAS CLAVES:

- **INDUSTRIA 4.0**
- **BIDIRECCIONALIDAD**
- **REDISEÑO**
- **ESTACIONES DE TRABAJO**

ABSTRACT

The present titration work consists of the design and implementation of workstations in a conveyor belt for industrial automation applications. For this, it began conducting a research about automation processes in the national and international industry, with trends to industry 4.0. After this, the design of a mechanism to achieve bidirectionality of the conveyor belt was done since previously it worked in only one direction. Through the use of a driver for the belt motor and the mechanism designed, it was possible to control the speed and the change of rotation of the conveyor belt at any time that the process requires. The design of the mechanism included static and dynamic analysis to verify its validity. After this, the central panel that controlled the band was evaluated to carry out a redesign of the electrical wiring and an implementation of control elements according to the requirements of the present work. In the same way, a new connection was made in the pneumatic system. Finally, work stations were built that were implemented in the conveyor belt. With all this, we proceeded to demonstrate the work done through an industrial process of liquid packaging.

KEYWORDS:

- **INDUSTRY 4.0**
- **BIDIRECTIONALITY**
- **REDESIGN**
- **WORK STATIONS**

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones posee varios laboratorios para el desarrollo y prácticas de las enseñanzas impartidas a los estudiantes. Uno de ellos, es el Laboratorio de Control Industrial en donde se pretende desarrollar el proyecto en cuestión. En el Laboratorio de Control Industrial se tiene como principal objetivo analizar los diferentes elementos, dispositivos y equipos empleados para realizar un control electromecánico de procesos relacionados con la industria, así como también las técnicas de diseño de diagramas de control y de potencia.

El hombre en su constante evolución ha visto la necesidad de automatizar los procesos dejando que las máquinas realicen procedimientos que antes realizaba el ser humano. Esto lo podemos evidenciar en la industria donde en un mercado exigente y competitivo se busca que los tiempos sean reducidos y las tareas se ejecuten de forma óptima. Por tal motivo el hombre está siendo sustituido por las máquinas en algunas labores. La industria actual, cada vez más competitiva, requiere soluciones Integrales de automatización Industrial que permitan optimizar la productividad y los procesos de una empresa.

Actualmente, el laboratorio posee cinco estaciones de trabajo donde se realiza las prácticas de la asignatura de control industrial, dando soporte a dos carreras de la institución como son la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control y la Carrera de Ingeniería Mecatrónica. Entre los trabajos que se realizan en cada período académico en el laboratorio se

encuentran: 10 prácticas de laboratorio por curso, dos trabajos de final de unidad y un trabajo conjunto perteneciente al último parcial; Este último es un conjunto de aplicativos de cuatro diferentes asignaturas, por lo que se requiere que haya una integración de estas y se dé uso a elementos propios del laboratorio que se encuentran actualmente en desuso.

Ahora mismo el laboratorio cuenta con una banda transportadora unidireccional, la cual está provista de solamente tres estaciones de trabajo. La banda junto con las estaciones trabaja con un motor trifásico y un compresor como fuentes, a más de un tablero de control el cual se encuentra no apto para su adecuado uso. La máquina como tal no se encuentra en funcionamiento por lo que se requiere ponerla operativa con varias mejoras a implementar.

El presente proyecto tiene como objeto el diseño y la implementación de estaciones de trabajo sobre una banda transportadora bidireccional, teniendo todo esto evidenciado en un proceso industrial demostrativo. Con este proyecto se pretenderá obtener una mejora académica al lograr la integración de materias que facilite un proyecto de final de unidad, de modo que, los estudiantes puedan aplicar procesos industriales reales haciendo uso de las mencionadas estaciones y de los elementos del laboratorio que actualmente no están siendo utilizados.

1.2. Justificación e importancia

El proyecto presentado se enmarca en la línea gubernamental del plan nacional del buen vivir 2017-2021 el cual indica en sus objetivos: mejorar la calidad de vida de la población, fortalecer las capacidades y potenciales de la ciudadanía, garantizar el trabajo digno en todas sus formas, impulsar la transformación de la matriz productiva, asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica, entre las más destacadas.

La educación y el Buen Vivir interactúan de dos modos. Por una parte, el derecho a la educación es un componente esencial del Buen Vivir, ya que permite el desarrollo de las potencialidades humanas, y como tal, garantiza la igualdad de oportunidades para todas las personas. Por otra parte, el Buen Vivir es un eje esencial de la educación, en la medida en que el proceso educativo debe contemplar la preparación de futuros ciudadanos, con valores y conocimientos para fomentar el desarrollo del país.

Por tanto, el proyecto en cuestión tiene pertinencia desde el punto de vista gubernamental y por lo tanto dentro de las vías de desarrollo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Según el Buen Vivir, los grandes desafíos nacionales que se plantea en el plan nacional de ciencia son:

- Facilitar e impulsar la incorporación del Ecuador a la sociedad del conocimiento para alcanzar los objetivos nacionales del régimen de desarrollo para el Buen Vivir.
- Promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación, científica y tecnológica, y potenciar los saberes ancestrales, para así contribuir a la realización del buen vivir, al Sumak Kawsay.
- Asegurar la difusión y el acceso a los conocimientos científicos y tecnológicos, el usufructo de sus descubrimientos y hallazgos en el marco de lo establecido en la Constitución y la Ley.
- Garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza y el ambiente. (DESARROLLO, 2017)

Con este proyecto se incrementará la mejora académica al implementar estaciones de trabajo que permitirán diversificar las aplicaciones de procesos industriales reales, a más de que se dará uso a elementos del laboratorio que no están siendo utilizados actualmente. Todo esto se lo hará repotenciando la banda transportadora que actualmente está limitada en su funcionamiento por la mecánica que la constituye permitiéndole moverse en un solo sentido, a más de la adición de nuevas estaciones de trabajo mejoradas y módulos que se encuentran en desuso, así como también la mejora de su estructura general y su tablero de control.

De manera general el proyecto permitirá la integración de proyectos de fin de semestre de cuatro asignaturas como Control Industrial, Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, PLC y Redes Industriales sin descartar la posibilidad de que puedan incluirse más asignaturas afines a la temática, de esta forma se facilitará el desarrollo de un proyecto de fin de semestre para los estudiantes que se encuentren en los diferentes cursos potencializando la aplicación de su conocimiento y por lo tanto logrando mejorar su experticia y habilidades de automatización al realizar un proyecto que abarque un gran número de necesidades académicas que el estudiante a dichos niveles conoce y en consecuencia puede aplicar.

El mencionado proyecto de fin de semestre está centrado en el tema de automatización industrial, tema con relevancia en el conocimiento de los estudiantes que cursan las carreras de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control e Ingeniería Mecatrónica. De forma específica, se conoce que, la automatización industrial permite realizar un trabajo eficiente en cualquier tipo de sector productivo que se implemente esta clase de tecnologías y procesos.

Una vez finalizado el proyecto de tesis este podrá sentar las bases para su utilización en otras temáticas de carácter investigativo, como la posibilidad de aplicar en el proceso realidad virtual,

realidad aumentada, conceptos de sistemas cyber físicos y del internet de las cosas, acercándonos de esta manera al horizonte epistemológico de las carreras el cual es la industria 4.0.

1.3. Alcance

1.3.1. Descripción

En el presente proyecto, se pretende realizar la implementación de estaciones de trabajo en una banda transportadora bidireccional, previo a un diseño de estas según aplicaciones futuras a darse, tomando en cuenta la integración de las asignaturas ya mencionadas. Para evidencia del presente trabajo de tesis se desarrollará un proceso industrial demostrativo que consistirá en la emulación de una planta embotelladora de dos líquidos A y B, ésta constará de los siguientes módulos: la primera estación será una etapa de llenado, la segunda de sellado, tercera etapa corresponderá al etiquetado de los productos, cuarta etapa de control de calidad, la quinta y última etapa será la que cumpla la función de empaquetado.



Figura 1. Banda transportadora ubicada en el Laboratorio de Control industrial.

Para la realización del proyecto en su parte demostrativa, que consta del desarrollo de un proceso de automatización industrial ya propuesto anteriormente, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- El trabajo de fin de unidad requiere realizar un símil de un proceso de automatización industrial, en tal virtud la presente tesis desarrollará un proceso demostrativo referente a una planta embotelladora.
- Para lograr este fin se requerirá la aplicación de asignaturas como: PLC, Control Industrial, Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, entre otras.

1.3.2. Diseño de componentes

Actualmente lo que se requiere mejorar e implementar en la banda de manera general es:

Componente mecánico para la bidirección de la banda transportadora

Se requiere un rediseño de la parte mecánica que permita el movimiento de la banda transportadora, de tal forma que, esta logre el movimiento bidireccional óptimo de la banda. El diseño se realizará mediante el estudio de resistencia y mecánica de materiales, así como simulaciones en software de diseño asistido por computador.



Figura 2. Motor y reductor unidireccional de la banda.

En la Figura 2, se presenta el motor trifásico que permite el movimiento unidireccional de la Banda transportadora mediante el reductor de velocidad, en esta parte se rediseñarán los elementos mecánicos para que la dirección cambie de sentido sin que este cambio sea brusco, y pueda afectar al correcto funcionamiento del sistema.

Estaciones de trabajo sobre la banda transportadora

Se implementará estaciones de trabajo las cuales permitan la emulación de un proceso industrial demostrativo (Véase Figura 4). Estas deberán hacer referencia a las materias (Control Industrial, Sistemas Hidráulicos y Neumáticos y PLC) que integrarán el trabajo de fin de unidad ya mencionado con anterioridad. Para el desarrollo de estas se hará uso de elementos del laboratorio como pistones neumáticos o módulos de trabajo, dándoles distintos aplicativos.



Figura 3. Estación de trabajo.

Cada torre de parada (Véase Figura 3) indica la presencia de las estaciones de trabajo, las cuales en conjunto representarán un proceso industrial. Se pretende colocar cinco módulos o estaciones para la realización de todo un ciclo de proceso.

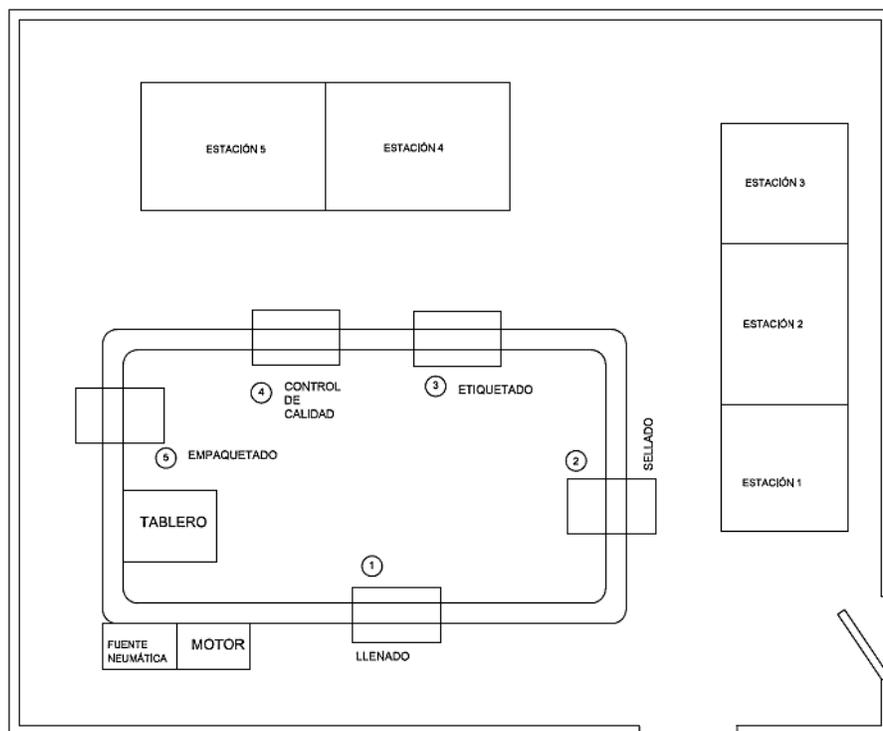


Figura 4. Layout de la banda transportadora y sus módulos.

- **ESTACIÓN 1.** – en esta estación se emulará el llenado de líquido específico según sea el caso de A o B a través de una luz indicadora.
- **ESTACIÓN 2.** – en esta estación un pistón de simple efecto, colocado de manera vertical, emulará el sellado de las botellas.
- **ESTACIÓN 3.** - este módulo emulará la colocación de etiquetas de los productos de A o B por medio de un pistón simple efecto, posicionado de manera horizontal.
- **ESTACIÓN 4.** - aquí se emulará la detección de cantidad de líquido correcta, mediante una luz indicadora.
- **ESTACIÓN 5.** - un pistón de simple efecto emulará la clasificación y el empaquetado de los productos A o B dependiendo de su llegada al presente módulo.

Sistema de control para la banda y elementos del proceso

Es necesario un sistema de control que sea el encargado de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento del sistema total, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados teóricamente verdaderos. Para esto está dispuesto a utilizarse un control ON/OFF ya que no se requiere más que una forma simple de control por realimentación, a más de ser ventajoso por su bajo precio de instalación, fácil mantenimiento y por ser muy utilizado en procesos de poca precisión.

Sistemas de frenado y neumático del proceso



Figura 5. Sistema de frenado.

El realizarán análisis del fluido tomando en cuenta el caudal y la presión generados por el compresor, además de los diámetros utilizados para las mangueras conductoras de flujo.

Panel de control del sistema

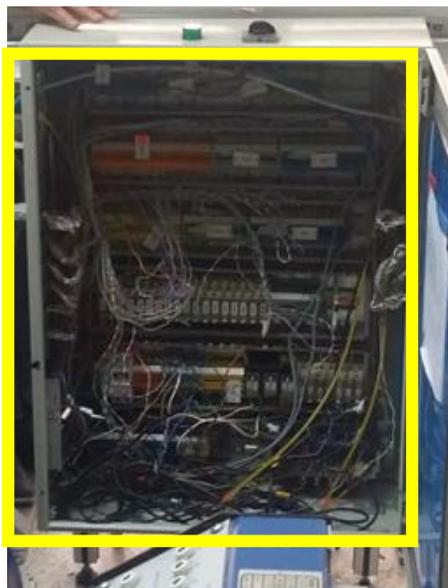


Figura 6. Tablero de control.

Se debe hacer una mejora de las conexiones y la disposición de las diferentes partes en el panel de control ya que este actualmente no está apto para su utilización, se encuentra desorganizado y en desuso (Véase Figura 6).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar estaciones de trabajo en una banda transportadora para aplicaciones de automatización industrial.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el cambio de giro a través de un mecanismo, de modo que, su configuración permita el movimiento bidireccional de la banda transportadora.
- Examinar el tablero industrial, cambiando elementos internos para reconectar todos los componentes y ponerlos en completa funcionalidad.
- Emplear los módulos, de cada estación con los elementos mecánicos/electrónicos para uso de aplicaciones de automatización industrial.
- Implementar estaciones de trabajo las cuales permitan simular un proceso industrial, de tal forma que se pueda desarrollar el trabajo de fin de unidad integrando varias asignaturas que se encuentran inmersas en la actividad académica.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Automatización industrial

2.1.1. Introducción

La ingeniería de la Automatización Industrial ha efectuado un enorme progreso en las últimas décadas. Elementos de hardware cada día más potentes, la incorporación de nuevas funcionalidades, y el desarrollo de las redes de comunicación industriales, permiten realizar en tiempos mínimos excelentes sistemas de Automatización Industrial. (Piedrafita, 2008)

La automatización de los procesos industriales a través de los años ha dado lugar a un avance espectacular de la industria. Todo ello ha sido posible gracias a una serie de factores entre los que se encuentran las nuevas tecnologías en el campo mecánico, la introducción de los computadores, y sobre todo el control y la regulación de sistemas y procesos.

La incorporación de los computadores en la producción es, sin lugar a dudas, el elemento puente que está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales. La aparición de la microelectrónica y de los microprocesadores ha facilitado el desarrollo de técnicas de control complejas, la robotización, la implementación de sistemas de gobierno y la planificación. Todos estos elementos llevan consigo la reducción de costes, el aumento de la productividad y la mejora del producto. (Sanfeliu, 2012)

2.1.2. Evolución

La primera revolución industrial empezó en Inglaterra en el siglo XVIII y XIX con la llegada de los equipos de producción mecánica impulsados por el agua. En el siglo XIX y cerca

del siglo XX se alcanzó con las líneas de montaje alimentadas con electricidad y la división del trabajo de la segunda revolución industrial. La automatización de la producción usando robots, electrónica y TI (Tecnologías de Información) tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX, esto se considera a menudo como la tercera revolución industrial en la producción. (Huthoefer, 2017)

El término “Industria 4.0” se origina de un proyecto de estrategias de alta tecnología del gobierno alemán que promueve la informatización del sector manufacturero. El objetivo de la industria 4.0 es revolucionar la producción creando una “fábrica inteligente” caracterizada por máquinas automatizadas y procesos en red. Esta infraestructura industrial funciona a través de internet e información en la nube. Se combina la integración física de la maquinaria y dispositivos conectados en red con sensores y software utilizado para predecir, controlar y planificar para obtener mejores resultados empresariales. Hay seis diseños principales para su implementación: fabricación inteligente, virtualización, descentralización, capacidad de actuar en tiempo real, servicio de orientación y modularidad. (Huthoefer, 2017)

La fábrica inteligente controla en tiempo real los flujos de materiales, productos e información. El mantenimiento es iniciado por los componentes de las máquinas automatizadas y las personas son apoyadas por sistemas de asistencia inteligentes. La industria 4.0 tiene el propósito de aumentar la eficiencia y reducir los costos lo que permite a las fábricas y a los países con mayores costos de mano de obra competir con descentralización. (Huthoefer, 2017)

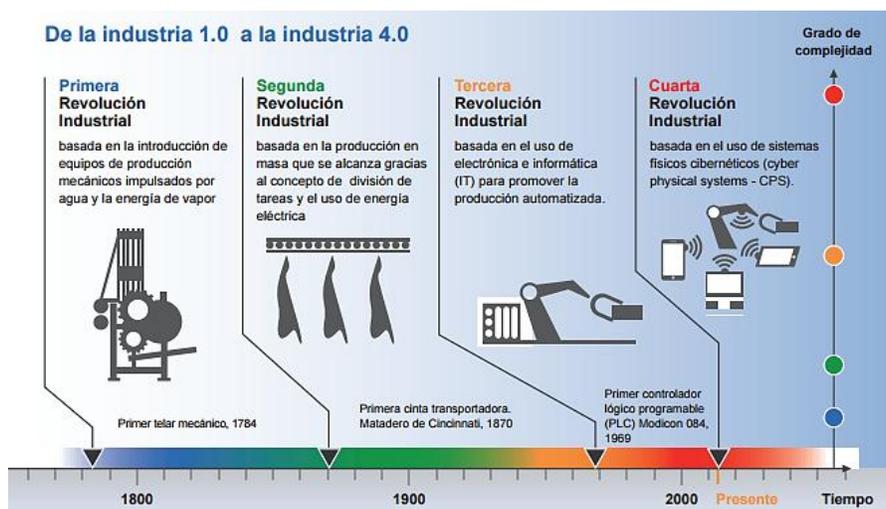


Figura 7. Línea de tiempo de la evolución industrial (Fuente: www.idia.es)

2.1.3. Automatismos industriales

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales. (Velasco, 2007)

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. (Tompkins, 2006)

El concepto de proceso está claramente relacionado con los conceptos de productos, programas, así como con la planificación de plantas, tal como muestra la Figura 8. La estructura organizativa de la empresa debe contar con una clara relación entre estos conceptos, y para ello el

ciclo de diseño está basado en la idea de ingeniería concurrente en la que diversos equipos desarrollan de forma coordinada cada uno de los diseños. En concreto es relevante centrarse en qué se va a producir, como y cuando se fabricarán los productos, qué cantidad de producto debe fabricarse, así como especificar el tiempo empleado y el lugar en que se llevarán a cabo dichas operaciones. (Tompkins, 2006)

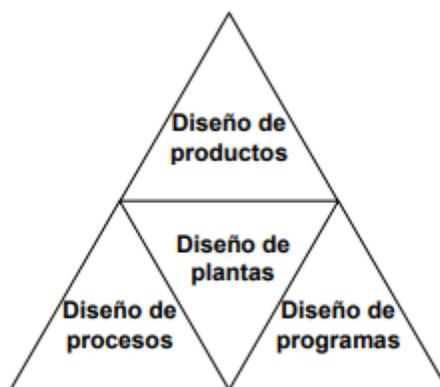


Figura 8. Diseño y Automatización Industrial (Fuente: Tompkins, 2006)

2.1.4. Sistemas de fabricación

En la industria actual, la mayor parte de los procesos de fabricación son automatizados. En los sistemas automatizados la decisión, la inteligencia que realiza las acciones de fabricación, no la realiza el ser humano. La inteligencia del proceso está contenida en la unidad de control o mando del sistema de fabricación.

La realización tecnológica de esa inteligencia ha adoptado diferentes formas o implementaciones a lo largo de la historia industrial. Desde automatismos puramente mecánicos hasta los autómatas programables actuales. En la actualidad, se puede afirmar que la mayoría de

los procesos automatizados están controlados por autómatas programables y en menor medida por ordenadores de control de proceso y reguladores industriales.

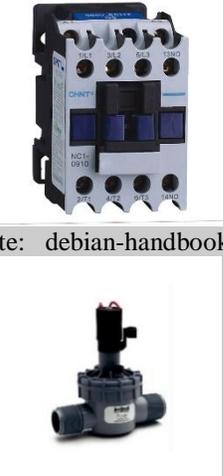
La combinación de la inteligencia de los autómatas programables con los accionadores industriales, así como el desarrollo de captadores y accionadores cada día más especializados, permite que se automatice un mayor número de procesos, liberando al ser humano tanto de tareas de gran complicación intelectual como de realizar esfuerzos sustituidos por accionadores electromecánicos, neumáticos, etc.

La potencia de los autómatas programables ha aumentado considerablemente dejando de ser unos “lentos elementos de control que solo pueden sustituir a los cuadros de contactores” a ejecutar complicadas aplicaciones de control con un tiempo de cómputo mínimo y con una alta fiabilidad.

Esto no solo ha sido posible con el desarrollo de la unidad de control, sino que se ha convertido en grandes esfuerzos e investigaciones en campos como son las redes de comunicación industrial, los buses de campo, los buses de célula, los identificadores de productos, etc. (Piedrafita, 2008)

Los elementos que componen una instalación automatizada son:

Tabla 1.*Elementos que componen una instalación automatizada*

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<i>Máquinas</i>	Donde se realizan los procesos, traslados, las transformaciones de los productos, etc.	 <p data-bbox="992 663 1312 720">Fuente: http://www.sc.ehu.es CONTINÚA</p>
<i>Accionadores</i>	<p data-bbox="467 720 922 940">Están acoplados a máquinas para realizar movimientos, calentamientos; son motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos.</p> <ul data-bbox="521 982 922 1056" style="list-style-type: none"> • Accionadores eléctricos • Accionadores neumáticos 	 <p data-bbox="984 1005 1320 1035">Fuente: debian-handbook.info</p>
<i>Pre - accionadores</i>	<p data-bbox="467 1272 922 1423">Para comandar y activar los accionadores. Son contactores, variadores de velocidad, electroválvulas, etc.</p> <ul data-bbox="521 1465 922 1644" style="list-style-type: none"> • Preaccionadores eléctricos • Preaccionadores neumáticos 	 <p data-bbox="984 1514 1320 1543">Fuente: debian-handbook.info</p> <p data-bbox="984 1766 1320 1795">Fuente: debian-handbook.info</p> <p data-bbox="1203 1822 1356 1850" style="text-align: right;">CONTINÚA</p>

Captadores

Son elementos que informan al órgano de mando del estado del sistema o de eventos que sucedan en él. Los captadores captan las señales necesarias para conocer el estado del proceso y decidir su desarrollo futuro. Detectan posición, presión, temperatura, caudal, velocidad, aceleración.

- **Finales de carrera**
- **Detectores inductivos**
- **Detectores fotoeléctricos**



Fuente: <http://www.sc.ehu.es>

Elementos de diálogo humano – máquina

Permiten el diálogo entre el operador y la unidad de control. Están implantados en el pupitre de la máquina: pilotos, pulsadores, teclados, visualizadores.



Fuente: <http://www.sc.ehu.es>

Elementos de mando

Son los elementos de cálculo y control que comandan el proceso. Han tenido un desarrollo espectacular en las últimas dos décadas, permitiendo controles más avanzados y flexibles sin requerir instalaciones complejas. Suelen ser autómatas programables u ordenadores de control industrial.



Fuente: debian-handbook.info

2.1.5. Jerarquía de un sistema de automatización

Los sistemas de automatización industrial pueden ser muy complejos por naturaleza, teniendo un gran número de dispositivos trabajando en sincronización con las tecnologías de automatización. La disposición jerárquica del sistema de automatización consta de diferentes niveles. (EXSOL, 2017)

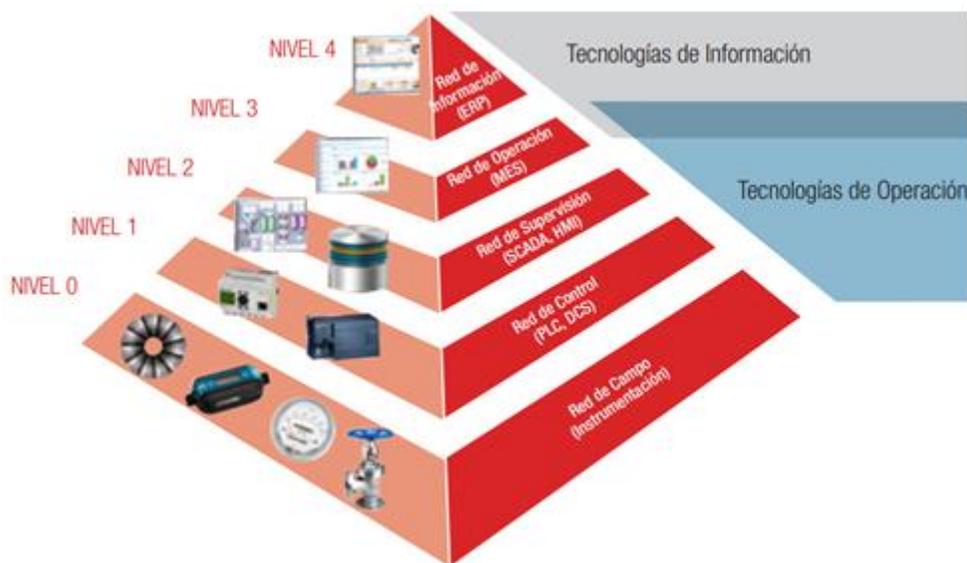


Figura 9. Pirámide de automatización (Fuente: www.ustabuca.edu.co)

2.1.5.1. Nivel de campo

Es el nivel más bajo. Incluye los dispositivos de campo como sensores y actuadores. La principal tarea de estos dispositivos de campo es transferir los datos de procesos y máquinas al siguiente nivel superior para monitoreo y análisis. Y también incluye el control de parámetros de proceso a través de actuadores. Como ejemplo, podríamos describir este nivel como los ojos y los brazos de un proceso particular. (EXSOL, 2017)

2.1.5.2. Nivel de control

Este nivel se compone de varios dispositivos de automatización como máquinas CNC, PLCs, etc., que adquieren los parámetros de proceso de varios sensores. Los controladores automáticos accionan los actuadores basándose en las señales procesadas provenientes de los sensores y en la técnica de programación o control. (EXSOL, 2017)

2.1.5.3. Nivel de supervisión y control de producción

En este nivel, dispositivos automáticos y sistemas de monitoreo, tales como las Interfases Hombre Máquina (HMI) proveen las funciones de control e intervención. Entre estas funciones se incluyen la supervisión de diversos parámetros, establecimiento de objetivos de producción, archivado histórico, puesta en marcha y parada de la máquina, etc. (EXSOL, 2017)

2.1.5.4. Nivel de información o empresarial

Este es el nivel superior de la automatización industrial que gestiona todo el sistema de automatización. Las tareas de este nivel incluyen la planificación de la producción, análisis de clientes y mercados, compras y ventas, etc. Por lo tanto, se ocupa más de las actividades comerciales y menos de los aspectos técnicos. (EXSOL, 2017)

2.1.5.5. Redes de comunicación industrial

Por otro lado, otro componente prominente en los sistemas de automatización industrial son las redes de comunicación industrial, que transfieren la información de un nivel al otro. Estas redes están presentes en todos los niveles del sistema de automatización para proporcionar un flujo continuo de información. No obstante, las redes de comunicación pueden ser diferentes de un nivel a otro. Algunas de estas redes incluyen RS485, CAN, DeviceNet, Foundation Field bus, Profibus, etc. (EXSOL, 2017)

2.1.6. Tipos de sistemas de automatización de procesos industriales

2.1.6.1. Automatización fija

Este tipo de automatización se emplea para realizar operaciones fijas y repetitivas con el fin de alcanzar altas tasas de producción. Utiliza equipos de propósito especial o dedicados para

automatizar las operaciones de ensamblaje o procesamiento de secuencia fija. A modo de ejemplo, suelen utilizarse sistemas de automatización fija en procesos de destilado, talleres de pintura, transportadores, etc. (EXSOL, 2017)



Figura 10. Automatización fija (Fuente: www.exsol.com.ar)

2.1.6.2. Automatización programable

En esta automatización, se puede cambiar una clase específica de cambios de producto y también de operaciones de ensamblaje o procesamiento, mediante la modificación del programa de control en el equipo automatizado. Ejemplos de este tipo de automatización son: máquinas y herramientas de control numérico, fábricas de papel, laminadores de acero, robots industriales, etc. (EXSOL, 2017)



Figura 11. Automatización programable (Fuente: www.industriales.ws)

2.1.6.3. Automatización flexible

Este sistema de automatización proporciona el equipo de control automático que ofrece una gran flexibilidad para realizar cambios en el diseño del producto. Estos cambios pueden realizarse rápidamente a través de los comandos dados en forma de códigos por los operadores humanos. Este tipo de automatización también permite a los fabricantes producir múltiples productos a través de un proceso combinado en lugar de separados. Algunos de los ejemplos de este sistema de automatización son: vehículos guiados automáticamente, automóviles, y máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) multifunción. (EXSOL, 2017)



Figura 12 Automatización flexible (Fuente: www.lvdgroup.com)

2.1.7. Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización

Existen complejos procesos de automatización que requieren de la colaboración entre los diversos departamentos de una empresa (gestión, logística, automatización, distribución, etc.). A continuación, se propone una metodología para la puesta en marcha de un proyecto de

automatización, esto no quiere decir que sea obligatorio usar este método, simplemente es una fuente de ayuda de la cual el usuario podría ayudarse.

El marco metodológico consta de las siguientes fases, que el operario debe realizar:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

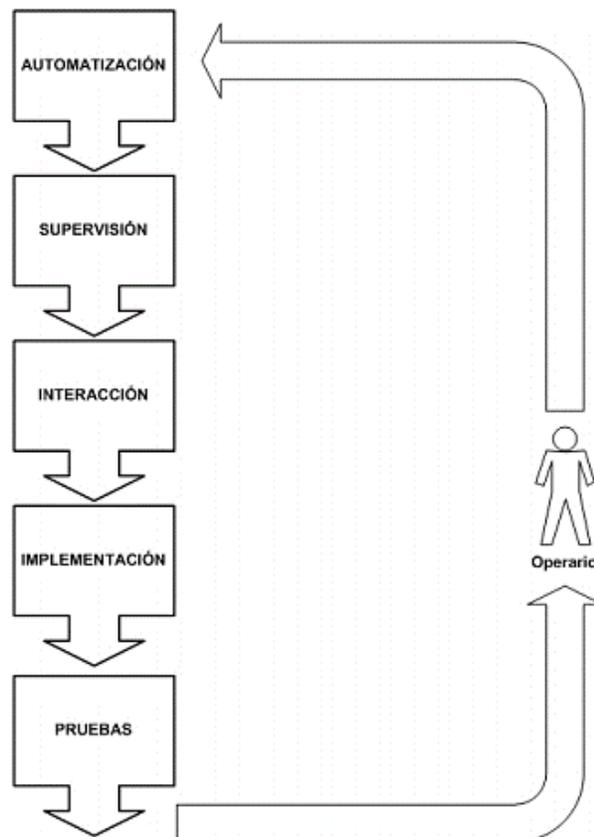


Figura 13. Fases de un proyecto de automatización (Fuente: Granollers & Ponsa, 2013)

La Figura 13 ilustra la secuencia ordenada de fases. Es decir, si la metodología quiere llevarse a la práctica hay que seguir paso a paso el método de forma secuencial. Cabe destacar el rol del operario en este esquema. El operario lleva a cabo cada una de las fases; hace la transición entre una fase y la siguiente, y, finalmente, se encarga de proceder a una iteración para rehacer el primer ciclo para introducir mejoras. Hay que tomar en cuenta que las fases que aparecen en el marco metodológico no son conceptos puntuales; cada uno de ellos puede tratarse en profundidad. (Granollers & Ponsa, 2013)

2.1.8. Ventajas y beneficios de la automatización industrial

Tabla 2.

Ventajas y beneficios de la automatización industrial

VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
Costo óptimo de operación	La integración de diversos procesos en la industria con maquinarias automatizadas, minimiza los tiempos de ciclo y esfuerzo, y por lo tanto la necesidad de trabajo humano se reduce. Esto resulta en una menor inversión en personal y empleados.
Alta productividad	La automatización de fábricas y procesos industriales mejoran las tasas de producción a través de un mejor control de la misma. Ayuda a lograr la producción en masa, reduciendo drásticamente el tiempo de montaje por producto con una mayor calidad. Por otro lado, permite a las industrias operar las 24 horas del día.

CONTINÚA

Productos de alta calidad	Dado que la automatización reduce la participación humana, la posibilidad de errores humanos también se elimina. Permite mantener un nivel de calidad y homogeneidad de productos, mediante el control y monitoreo adaptativos de los procesos industriales en todas las etapas, desde el inicio hasta el producto final.
Mayor seguridad para el personal	Aumenta el nivel de seguridad al personal, sustituyéndolos por robots industriales y dispositivos automáticos en condiciones de trabajo peligrosas.
Alta flexibilidad	El agregado de una nueva tarea en la línea de montaje implica el entrenamiento necesario a todos los operadores manuales involucrados. En cambio, los robots y máquinas pueden ser programados para realizar todo tipo de tareas, lo que permite una mayor flexibilidad en el proceso productivo.
Información precisa	La adquisición de datos automática permite recolectar información clave de la producción, incrementando la precisión de los datos y minimizando los costos de adquisición. Esto contribuye a una mejor toma de decisiones a la hora de mejorar los procesos industriales.
Reducción de controles de rutina	La automatización reduce completamente la necesidad de comprobar manualmente parámetros del proceso. Aprovechando las tecnologías de automación, los procesos industriales ajustan automáticamente las variables del proceso a los valores fijados o deseados usando técnicas de control en bucle cerrado.

2.2. Diseño concurrente

2.2.1. Introducción

Un producto que funciona de manera limitada, inesperada o insatisfactoria no goza de la confianza del consumidor. Con esto en mente, a lo largo de los años, los siguientes dos criterios principales han dominado el pensamiento de los diseñadores de productos: funcionalidad y rendimiento. Sin embargo, en el mercado competitivo actual, la consideración de la funcionalidad y el rendimiento solo en el diseño y fabricación del producto no es suficiente. Un diseñador debe lidiar con las restricciones realistas del mercado, tales como los costos, el tiempo y el estado actual de la tecnología; la disponibilidad de tecnología (material, proceso, etc.) a menudo viene dictada por factores como el volumen de producción y la tasa de producción. (Mital, Desai, Subramanian, & Mital, 2008)

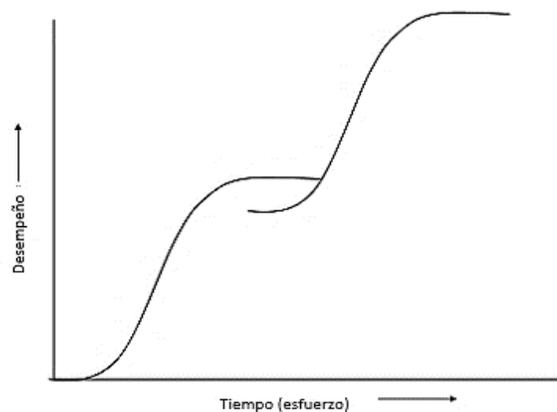


Figura 14. La curva S de la evolución de la tecnología (Fuente: Mital, Desai, Subramanian, & Mital, 2008)

Bajo la ingeniería simultánea o concurrente, el diseño de un producto se basa en la integración concurrente de las siguientes actividades principales:

1. Conceptualización del diseño y axiomas de diseño.
2. Identificación de las funciones del producto.
3. Modelización de productos y CAD (representación gráfica y analítica del producto).
4. Selección de materiales (propiedades del material y procesos de fabricación asociados).
5. Diseño para una fabricación eficiente (minimizando los requisitos posicionales y considerando el ensamble).
6. Especificación de dimensiones y tolerancias (selección de maquinaria).

(Mital, Desai, Subramanian, & Mital, 2008)

2.2.2. Ingeniería concurrente en diseño de producto

A mediados del siglo XX, los procesos de diseño y fabricación se habían vuelto complejos. Era imposible para una persona, por más hábil que sea, centrarse en todos los aspectos de un producto que evoluciona constantemente. Diferentes grupos de personas se volvieron responsables de diferentes actividades. Esta evolución condujo a lo que ahora se conoce comúnmente como el proceso de diseño sobre la pared. Este proceso implica una comunicación unidireccional entre diferentes grupos de personas, representada como información que se "arroja al vacío".

Con el reconocimiento de que las decisiones de diseño tomadas temprano en el ciclo de desarrollo del producto pueden tener un efecto significativo en la manufacturabilidad, calidad, costo, tiempo de introducción del producto y, por lo tanto, en el éxito del producto final y con el costo correctivo prohibitivo del cambio de ingeniería pedidos, la ingeniería concurrente recientemente ha sido reconocida como un enfoque de diseño viable. Una comprensión de los

elementos clave involucrados en el diseño y la fabricación (para la funcionalidad, (ver Figura 15) de los productos de consumo y las herramientas utilizadas para modelar estos elementos debería ayudar a arrojar luz sobre por qué la funcionalidad no está garantizada en los productos. (Mital, Desai, Subramanian, & Mital, 2008)

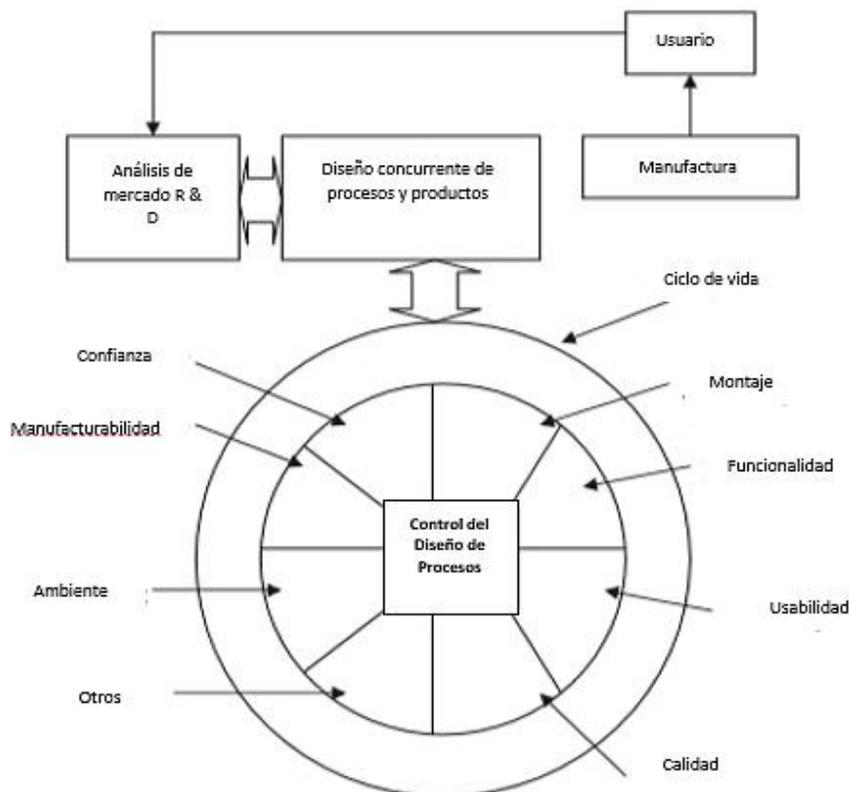


Figura 15. Ingeniería concurrente en el diseño de producto (Fuente: Mital, Desai, Subramanian, & Mital, 2008)

2.2.3. Integración de perspectivas

La nueva perspectiva del diseño que toma en consideración de forma simultánea los requerimientos funcionales y los de fabricación se denomina diseño para la fabricación y el montaje (DFMA del inglés design for manufacturing and assembly) y, gracias a los buenos resultados

obtenidos, estos mismos principios se han ido aplicando progresivamente a otros aspectos de los productos y de los servicios para asegurar que den respuesta a las necesidades de los usuarios, que faciliten el mantenimiento o que minimicen los impactos ambientales. Estos principios, junto con nuevas formas organizativas y nuevas herramientas integradoras, han ido confluyendo en un nuevo concepto que toma el nombre de ingeniería concurrente. (Riva Romeva, 2002)

2.2.4. Definición de ingeniería concurrente

Nueva forma de concebir la ingeniería de diseño y desarrollo de productos y servicios de forma global e integrada donde concurren las siguientes perspectivas:

1. Desde el punto de vista del producto, se toman en consideración tanto la gama que se fabrica y ofrece a la empresa como los requerimientos de las distintas etapas del ciclo de vida y los costes o recursos asociados
2. Desde el punto de vista de los recursos humanos, colaboran profesionales que actúan de forma colectiva en tareas de asesoramiento y de decisión (con presencia de las voces significativas) o de forma individual en tareas de impulsión y gestión (gestor de proyecto), tanto si pertenecen a la empresa como si son externos a ella (otras empresas, universidades o centros tecnológicos)
3. Y, desde el punto de vista de los recursos materiales, concurren nuevas herramientas basadas en tecnologías de la información y la comunicación sobre una base de datos y de conocimientos cada vez más integrada (modelización 3D, herramientas de simulación y cálculo, prototipos y útiles rápidos, comunicación interior, Internet).

Para designar este nuevo concepto, además del término ingeniería concurrente, en la literatura especializada aparecen otras denominaciones como ingeniería simultánea, diseño total o diseño integrado (ver referencias bibliográficas). Sin embargo, nos inclinamos por la primera denominación ya que, además de tener una buena aceptación, incide el hecho de la concurrencia de puntos de vista, de metodologías, de actores humanos y de herramientas de apoyo. (Riva Romeva, 2002)

Ingeniería simultánea

Forma de ingeniería concurrente que suele aplicarse en proyectos de gran complejidad (el diseño de un automóvil, por ejemplo), donde prima como factor clave de competitividad la disminución del tiempo de diseño y desarrollo (time to market, o lead time). (Riva Romeva, 2002)

Diseño para la calidad

Perspectiva de la ingeniería concurrente que, más allá de buscar la conformidad de un producto o servicio con las especificaciones previstas, incide en el mismo diseño para hacerlo más apto para la calidad (eliminación o simplificación de controles, diseño robusto). (Riva Romeva, 2002)

Diseño para el entorno. Factor humano

Perspectiva de la ingeniería concurrente que toma en consideración en el diseño las crecientes limitaciones que comportan la escasez de energía y recursos naturales, los impactos ambientales y los requerimientos que se engloban bajo el concepto de factor humano (ergonomía,

seguridad, inteligibilidad), aspectos todos ellos cada vez más sometidos a normativas y a legislaciones. (Riva Romeva, 2002)

Diseño en el contexto de la gama de producto

Perspectiva de la ingeniería concurrente que inscribe el diseño y el desarrollo del producto o servicio en el contexto de la oferta de la empresa o del sector. Hay que tener presente la tendencia a desplazar la oferta de productos hacia una oferta más global de servicios cuya prestación requiere a menudo de nuevos y más sofisticados productos. (Riva Romeva, 2002)

Equipos pluridisciplinarios de decisión y asesoramiento

Desde la perspectiva de los recursos humanos, y dada la complejidad de las nuevas formas de diseño, la ingeniería concurrente ha fomentado la formación de equipos pluridisciplinarios con presencia de las voces más significativas (dirección, marketing, finanzas, diseño, fabricación, calidad, comercial, posventa, usuarios) para el asesoramiento, debate y toma de decisiones en los principales aspectos de los proyectos de innovación. (Riva Romeva, 2002)

Gestor de proyecto y organización matricial

También desde la perspectiva de los recursos humanos y, dado la necesidad de una visión global y con continuidad del producto o servicio, se suele designar un gestor de proyecto que se responsabilice de la impulsión y gestión de todo el proceso de diseño y desarrollo del producto.

En relación al proceso de diseño, la integración de las perspectivas anteriores obliga a centrar la atención y los esfuerzos en las etapas de definición y diseño conceptual de los productos y servicios, y a elaborar en profundidad un principio de solución antes de pasar a las etapas siguientes (diseño de materialización y de detalle). (Riva Romeva, 2002)

Estructura modular y subproyectos

Los productos o servicios complejos se suelen subdividir en partes más simples (o módulos) en el marco de una estructura modular. Las tareas de diseño, desarrollo y fabricación de los módulos pueden organizarse en subproyectos que son realizadas por diversos equipos (propios, contratados, o suministradores). El establecimiento de la estructura modular requiere criterios y métodos para repartir las funciones y establecer las conexiones (o interfases) entre los módulos, así como técnicas para transmitir adecuadamente la información entre los diferentes equipos de diseño. (Riva Romeva, 2002)

Herramientas basadas en la informática y las comunicaciones

Desde la perspectiva de los medios, el diseño y desarrollo incorporan numerosas herramientas asistidas por ordenador han reforzado las actividades de prototipado virtual y simulación, con el consiguiente ahorro en tiempo y en pruebas con prototipos físicos. (Riva Romeva, 2002)

Prototipos y útiles rápidos

También, desde la perspectiva de las herramientas, últimamente se han desarrollado numerosas técnicas para facilitar la realización de prototipos en un tiempo más breve (y, generalmente, también a un coste más reducido). Ello invita a un uso más decidido de las actividades de evaluación y validación por medio de ensayos con prototipos físicos como comprobación última, lo que se traduce en asegurar la calidad de los productos y servicios. (Riva Romeva, 2002)

2.2.5. Principales orientaciones de la ingeniería concurrente

Ingeniería concurrente orientada al producto

Esta primera orientación de la ingeniería concurrente se refiere a la integración de todos aquellos aspectos que pueden tener una incidencia positiva en el producto, especialmente en sus funciones y en la relación entre prestaciones y coste. De forma muy directa inciden el:

- Diseño para la función
- Diseño para la fabricación

Pero también inciden otras perspectivas relacionadas con las finanzas, la producción y la comercialización como el:

- Diseño para la calidad
- Política comercial y de marketing
- Política de compras y de subcontratación

Los rasgos principales de la ingeniería concurrente orientada al producto son:

- a) En primer lugar, debe asegurar que el producto o servicio responda a las necesidades manifestadas por los usuarios; por lo tanto, es fundamental la intervención del departamento de marketing en su definición.
- b) En segundo lugar, debe tomar en consideración desde el inicio los procesos de fabricación y el equipo e inversión necesarios; por lo que es necesaria la intervención de la ingeniería de fabricación desde el inicio del proyecto.

- c) Y, en tercer lugar, hay que asegurar la calidad del producto y la rentabilidad de los recursos para fabricarlo y comercializarlo, por lo que debe preverse la intervención del departamento de calidad en la definición y desarrollo del proyecto. (Riva Romeva, 2002)

Ingeniería concurrente orientada al entorno

La ingeniería concurrente orientada al entorno trata precisamente de aquellos aspectos relacionados con el entorno del producto que, a pesar de que con un diseño concurrente adecuado podrían mejorar o eliminarse, no hay incentivos suficientes para implementarlos pues, normalmente, sus efectos inciden fuera de la empresa y normalmente son soportados por los usuarios e indirectamente por la sociedad (consumos elevados, contaminaciones, fallos, falta de seguridad, problemática de fin de vida).

Es evidente que este es un esquema simplista ya que los buenos fabricantes no abandonan a sus clientes (garantías, servicios de postventa, mantenimiento), pero también es cierto que hay temas que aún están demasiado ausentes (poca seguridad, consumos excesivos, emisiones contaminantes, impactos de la eliminación). (Riva Romeva, 2002)

Las principales metodologías y puntos de vista que inciden en la ingeniería concurrente orientada al entorno son:

- a) Ergonomía. Trata la relación entre el hombre y la máquina. Son técnicas ya desarrolladas desde hace más de cuatro décadas con una incidencia creciente en el diseño.

- b) Seguridad. Estudia la manera de evitar el riesgo de daños personales o materiales. Las normativas europeas de seguridad en las máquinas hacen responsable al fabricante de las incidencias y accidentes imputables al diseño (a partir de 1995)
- c) Medioambiente. Propugna el uso sostenible de materiales y energía tanto en la fabricación como en la utilización y la disminución de las emisiones contaminantes. Estos aspectos tienen regulaciones más o menos severas, especialmente en algunos sectores y su importancia en el diseño no hará más que aumentar.
- d) Eliminación o reciclaje. Estudia la forma de reutilizar, reciclar o recuperar los materiales al fin de vida de los productos y todo indica que su incidencia en el diseño irá creciendo. La automoción y el embalaje marcan la pauta. (Riva Romeva, 2002)

2.3. Proceso de envasado de líquidos

2.3.1. Introducción

El llenado de botellas es una de las principales operaciones de envasado de productos líquidos de la industria del envase y el embalaje. El esquema del proceso y su complejidad, varían en función del tipo de producto a embotellar, la capacidad productiva de la industria, el tipo de botella y cierre, además de muchos otros factores. Por esta razón, a continuación, se incluye información relativa al proceso completo de embotellado, desde la recepción de las botellas hasta la comercialización del producto embotellado. Algunas de estas etapas serán modificadas o anuladas, en función de las necesidades de la industria. La línea está compuesta por máquinas perfectamente sincronizadas entre sí.

A la hora de diseñar una línea de embotellado se tiene siempre en mente la idea de que ocupe un mínimo de espacio, pero con condiciones optimizadas de manejo, mantenimiento y puesta en servicio. (Castrillón, 2013)

2.3.2. Llenado de Líquidos

Los sistemas de llenado para líquidos han evolucionado en las últimas décadas con la aparición de las tecnologías asépticas, que aparecen por primera vez en la década de los 60 con la introducción del envase de cartón Brik. El aumento de exigencia de los consumidores ha llevado a la casi desaparición de la utilización de conservantes en las bebidas, así como a mejorar el proceso de su producción para conseguir una mayor calidad de organoléptica y nutricional. En la actualidad el llenado de bebidas se realiza con distintas tecnologías en las que cabe destacar las que se realizan en caliente y en frío. (MachinePoint, 2015)

Llenado en caliente

El llenado en caliente en la actualidad está restringido prácticamente a los envases de cristal. Esta tecnología es una de las más antiguas. La bebida se introduce en la botella a una temperatura superior a 85 °C, luego se tapona y pasan las botellas por un túnel de pasteurización y posteriormente un enfriamiento para su estabilizado. (MachinePoint, 2015)

Llenado en Frío

Para el llenado en frío tenemos tres tipos de tecnologías:

1. El aplicado por ejemplo a bebidas gasificadas, donde el envase, de vidrio o Pet, es llenado en llenadoras Iso barométricas, tapado y posteriormente pasteurizado en túneles de pasteurización.

2. Sistemas Ultra Clean: aplicado a bebidas con temperaturas de llenado bajas, y donde las condiciones ambientales son muy estrictas
3. Llenado en estéril: El llenado estéril es el que mejor conserva el producto en cuanto a sus cualidades nutritivas, organolépticas y vida después de envasado se refiere.

En este tipo de tecnologías los diferentes sistemas de llenado esterilizan el envase previo al llenado, y este se realiza en condiciones de ambiente estéril, esterilizando mediante la inyección de peróxidos o ácido peracético al envase, que es secado posteriormente para eliminar los restos. (MachinePoint, 2015)

2.3.3. Principales elementos que forman una línea de envasado

2.3.3.1. Llenadoras



Figura 16. Sistema de envasado (Fuente: www.puritronic.com.mx)

Las envasadoras con las que llenamos los envases primarios de líquidos las podemos dividir, en rasgos muy generales, aunque siempre sabemos que existen casos especiales, en varias

categorías según su estructura, según su forma de trabajo, según la producción que deseamos, según el producto que vamos a envasar, etc.

También hay que saber elegir muy bien el envase que queremos llenar y tener en cuenta todos los factores que afectan para el envasado. Según el tipo de producto la forma del envase está más condicionada por su función física, estética, expresiva o simbólica.

Formas de Envasado de productos líquidos

Por Gravedad. - Este es uno de los medios más tradicionales, ya que no requiere de la ayuda de ningún elemento externo para que se produzca el llenado.

Por Bomba. - En este modo de actuación encontramos una ayuda externa que fuerza el paso del producto, este método se emplea para productos densos principalmente.

Por Pistones. - Al igual que en el modelo anterior aquí también trabajamos con elementos externos para forzar el paso de producto. En este caso el movimiento lo realizamos mediante la carga y la descarga del producto en dosis iguales.

Por Medición de Caudal. - Este tipo de llenado lo empleamos cuando deseamos conseguir mucha precisión a la hora de envasar. Existen muchas variantes de caudalímetros como son los másicos, los electromagnéticos, etc.

Por presión o por vacío. - Este tipo de envasado nos permitirá tener un control del nivel de envasado controlando por soplado o aspirado la presión que tenemos dentro del envase. (Cortés, 2014)

2.3.3.2. Taponadoras

Una vez tenemos el envase lleno nuestro siguiente objetivo será taponarlo. El proceso de tapado vendrá determinado como es lógico por el tipo de tapón. De nuevo muchos factores son los que intervienen para la elección de una forma de tapado u otra. Hay tapones que se tapan a presión y hay tapones que van roscados.



Figura 17. Taponadora semiautomática (Fuente: www.solempack.com)

En el proceso de tapado intervienen tres elementos, por un lado, el Posicionador, por otro el Dosificador de Tapones, y por último el Taponador propiamente dicho. El posicionador de tapones puede ser mecánico (por trampa o por expulsores), por vibración, etc. La elección de uno u otro dependerá de la forma del tapón y la complicación que tenga para orientarlo.

El Dosificador de tapones sirve para una vez posicionado el tapón en la situación adecuada realizar la entrega al envase, el tapado del envase y que podrá ser de dos modos:

- Por presión, mediante rueda loca, rueda traccionada con la propia máquina o pistón neumático, la elección dependerá de la velocidad y de la forma del tapón e incluso de factores ambientales como ambientes corrosivos.

- Roscado, de manera mecánica por ruedas, por cabezales actuados de manera mecánica, por cabezales actuados por motores neumáticos o por cabezales actuados por motores eléctricos.

(Cortés, 2014)

2.3.3.3. Etiquetadoras

En la actualidad cada vez tiene mayor importancia la capacidad de contenido de información de las etiquetas. Esta información va desde lo estrictamente legal hasta la imagen de la empresa, el etiquetado es una señal de identidad de la empresa y el uso de unos materiales u otros vendrá determinado por diversos factores nuevamente. (Cortés, 2014)

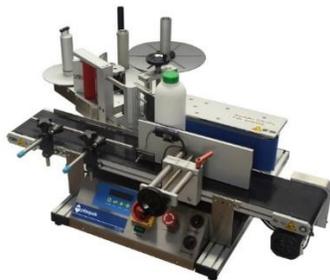


Figura 18. Etiquetadora de botellas cilíndricas (Fuente: <http://plaspak.cl>)

Tipos de etiquetadoras

Autoadhesivas. - Suelen ser lineales y se emplean con etiquetas autoadhesivas

Cola Fría. - Pueden ser lineales o rotativas y se emplean con etiquetas de papel principalmente.

Cola Caliente. - Pueden ser lineales o rotativas, con cabezales y sin cabezales y se emplean tanto para etiquetas de papel como para etiquetas de plástico ya sean precortadas como partiendo de bobina.

2.3.3.4. Empaquetamiento

El más habitual suele ser el encajado para lo cual deberemos disponer de la siguiente relación de maquinaria. (Cortés, 2014)

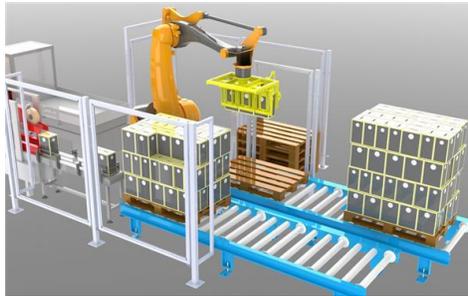


Figura 19. Sistema de empaquetamiento de botellas de vino (Fuente: www.catadelvino.com)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL SISTEMA

3.1. Generación de conceptos

En base a los requerimientos del presente trabajo, se estableció criterios sobre los que se basó la selección de un concepto de producto.

Se generó conceptos a raíz de lo solicitado en el presente trabajo, por lo que se ha considerado los dos conceptos siguientes:

Concepto A:

Tren de engranes en configuración Ravigneaux

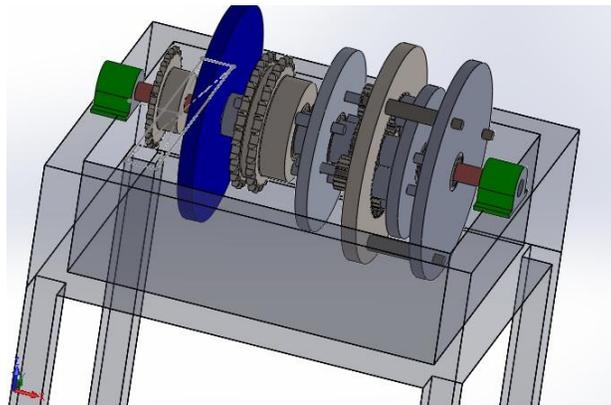


Figura 20. Concepto A

Concepto B:

Transmisión de potencia directa

En base a la matriz de selección de conceptos, se puede notar que el concepto mejor calificado ha sido el concepto B.

Puesto que la evaluación neta ha sido superior en el concepto B, se da por seleccionado este concepto sin necesidad de hacer una evaluación más minuciosa de los conceptos planteados inicialmente. Bien es cierto que usar un método permite la selección de conceptos, pero quien finalmente selecciona el concepto en base a sus criterios es el equipo responsable del proyecto.

Tras una meditación sobre los resultados y el proceso que se ha seguido para la selección de un concepto, se ha decidido que el concepto B será el más óptimo y cumplirá con el objetivo del presente proyecto.

3.3. Diseño mecatrónico

3.3.1. Diseño de los componentes mecánicos

3.3.1.1. Diseño de ejes

Para el diseño y fabricación de los ejes se ha tenido consideraciones como el módulo, material, esfuerzos, tensiones admisibles.

Material

Tabla 4.

Comparación de características entre aceros AISI 1018 y AISI 1040

CARACTERISTICAS	AISI 1018	AISI 1040
Esfuerzo máximo:	440 MPa (63801 PSI).	620 MPa (89900 PSI).
Esfuerzo de fluencia:	370 MPa (53700 PSI).	415 MPa (60200 PSI).
Dureza:	126 HB (71 HRb).	223 HB (93 HRb).
Módulo de elasticidad:	205 GPa.	190 GPa

CONTINÚA

Maquinabilidad:	75%	60%
Densidad:	7,87 g/cm ³ (0,284 lb/in ³)	7,85 g/cm ³ (0,284 lb/in ³)

(BOHLER, 2019), (DIPAC, 2018)

A pesar de que el AISI 1040 presente ciertas propiedades mejores con respecto al AISI 1018, se selecciona este último porque sus características son suficientes para que trabaje bajo las condiciones deseadas, y a su vez, presenta una mayor facilidad de manufactura, así como costos más económicos.

Diseño de los ejes

El diseño de ejes, se lo realiza mediante un diagrama de fuerzas, para esto se empezará por obtener las fuerzas de reacción sobre cada uno de los ejes. La velocidad de salida del motor se la ha calculado con el uso de un encoder, obteniéndose un valor de 53 rpm, de un motor con una potencia de 3 hp.

$$P = T \cdot \omega \quad (3.1)$$

P= Potencia [Watts]

T= torque [Nm]

ω = velocidad [rad/s]

Con los datos siguientes es factible calcular el torque que ingresa al sistema.

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{3 \cdot 746}{\frac{53 \cdot 2\pi}{60}}$$

$$T = 403,23 \text{ Nm}$$

Este torque es transmitido a la catalina motriz. De esta manera es posible calcular las fuerzas que actúan sobre este elemento.

$$T = F \cdot d \quad (3.2)$$

d= diámetro de la catalina

F=fuerza aplicada al elemento

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

$$= \frac{403,23 \text{ Nm}}{0,0304 \text{ m}}$$

$$F = 13,441 \text{ kN}$$

La Fuerza resultante se la secciona en los planos X e Y, que es donde se encuentra aplicada.

Obteniendo:

$$F_{MX} = 6,72 \text{ kN}$$

$$F_{MY} = 11,64 \text{ kN}$$

De igual manera, se procede a calcular las fuerzas resultantes en la catalina que trasmite el movimiento al segundo eje.

$$F = \frac{403,23 \text{ Nm}}{(0,046 \text{ m})}$$

$$F = 8,76 \text{ kN}$$

$$F_{TX} = 4,38 \text{ kN}$$

$$F_{TY} = 7,59 \text{ kN}$$

Además, se debe tener en cuenta la fuerza que ejerce la cadena de la banda transportadora sobre el eje primario.

$$p = (2,1 W + M)f_r C \quad (3.3)$$

p = Peso de la cadena [lbs]

W = Peso de los eslabones de la banda transportadora [lbs/ft]

M = Peso de la sección analizada en la cadena [lbs/ft]

f_r = Coeficiente de fricción

C = distancia entre centros [ft]

$$p = (2,1 \cdot 10 + 33)0,21 \cdot 0,5$$

$$p = 5,67 \text{ lbs}$$

$$p = 2,58 \text{ kg}$$

Se debe tener en cuenta el peso de los pallets al momento de pasar por este punto, así que se agrega este peso.

Área de los pallets es: $0,343 \text{ m}^2$

$$w_a = (0,343 \text{ m}^2) \left(7,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

$$w_a = 2,57 \text{ kg}$$

Peso total

$$Pt = 2,58 + 2,57$$

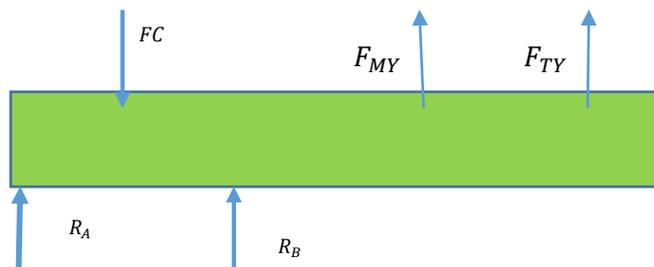
$$Pt = 5,15 \text{ kg}$$

$$Fc = 5,16 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Fc = 50,52 \text{ N}$$

Primer eje

Plano Y



Destilación de fuerzas

$$\sum F_Y = 0$$

(3.4)

$$R_A + R_B - F_C + F_{MY} + F_{TY} = 0$$

$$R_A + R_B = -19,13 \text{ N}$$

Donde:

$\sum F_Y$ = sumatoria de fuerzas en el eje Y [N]

R_A = reacción en el punto de apoyo "A" del eje [N]

R_B = reacción en el punto de apoyo "B" del eje [N]

$$\sum M_A = 0 \quad (3.5)$$

$$-F_C(0,035) + -R_B(0,07) + F_{MY}(0,120) + F_{TY}(0,170) = 0$$

$$R_B = \frac{-2,76}{0,07}$$

$$R_B = -38,15 \text{ kN}$$

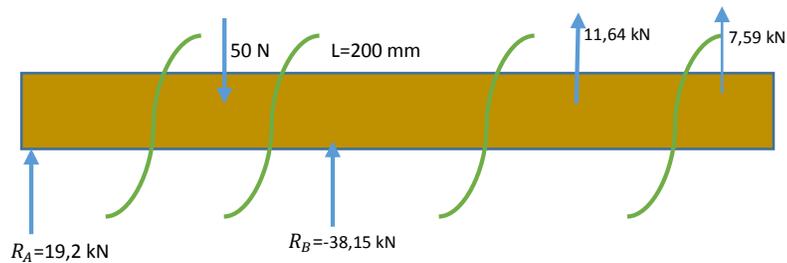
$$R_A = 19,02 \text{ kN}$$

Donde:

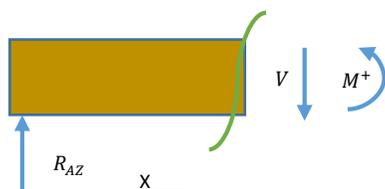
$\sum M_A$ = sumatoria de momentos en el punto "A" [$N \cdot m$]

Diagrama cortante y momento flector.

Seccionamiento primer eje



Sección I



$$\sum F = 0$$

$$R_A - V = 0$$

$$V = R_A$$

$$V = 19,2 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

$$-R_A(X) + M = 0$$

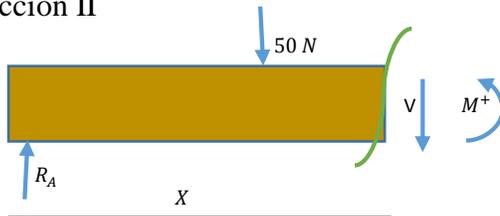
$$M = \begin{cases} X = 0 \rightarrow M = 0 \text{ kNm} \\ X = 0,035 \rightarrow M = 0,672 \text{ kNm} \end{cases}$$

Donde:

V = fuerza cortante [N]

$\sum M$ = sumatoria de momento flector [Nm]

Sección II



$$\sum F = 0$$

$$R_{Ay} + F_c - V = 0$$

$$V = 19,48 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

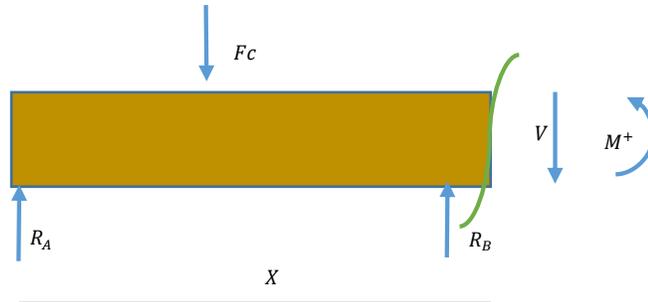
$$-R_A(X) + F_c(X - 0,035) + M = 0$$

$$-19,2(X) + 0,28X - 0,0098 + M = 0$$

$$M = 19,2X + 0,0098$$

$$M = \begin{cases} X = 0,035 \rightarrow M = 0,6748 \text{ kNm} \\ X = 0,07 \rightarrow M = 1,33 \text{ kNm} \end{cases}$$

Sección III



$$\sum F = 0$$

$$R_A - F_C + R_B - V = 0$$

$$V = -19,23 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

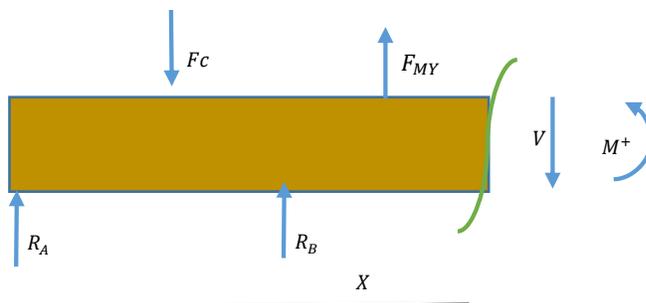
$$-R_A(X) + F_C(X - 0,035) - R_B(X - 0,07) + M = 0$$

$$-19,2(X) + 0,28X - 0,0098 + 38,15X - 2,67 + M = 0$$

$$M = -19,23X + 2,64$$

$$M = \begin{cases} X = 0,07 \rightarrow M = 1,33 \text{ kNm} \\ X = 0,120 \rightarrow M = 0,418 \text{ kNm} \end{cases}$$

Sección IV



$$\sum F = 0$$

$$R_A - F_C + R_B + F_{MY} - V = 0$$

$$V = -7,69 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

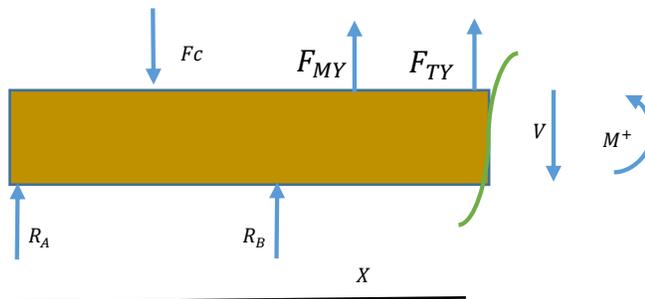
$$-R_A(X) + F_C(X - 0,035) - R_B(X - 0,7) - F_{MY}(X - 0,12) + M = 0$$

$$-19,2(X) + 0,28X - 0,0098 + 38,15X - 2,67 - 11,64X + 1,4 + M = 0$$

$$M = -7,54X + 1,27$$

$$M = \begin{cases} X = 0,12 \rightarrow M = 0,420 \text{ kNm} \\ X = 0,17 \rightarrow M = 0,01 \text{ kNm} \end{cases}$$

Sección V



$$\sum F = 0$$

$$R_A - F_C + R_B + F_{MY} + F_{TY} - V = 0$$

$$V = 0 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

$$-R_A(X) + F_C(X - 0,035) - R_B(X - 0,7) - F_{MY}(X - 0,12) - F_{TY}(X - 0,17) + M = 0$$

$$-19,2(X) + 0,28X - 0,0098 + 38,15X - 2,67 - 11,64X + 1,4 - 7,64X + 1,30 + M = 0$$

$$M = 0,05X - 0,0202$$

$$M = \begin{cases} X = 0,17 \rightarrow M = 0,01 \text{ kNm} \\ X = 0,20 \rightarrow M = -0,01 \text{ kNm} \end{cases}$$

Primer eje, plano Y

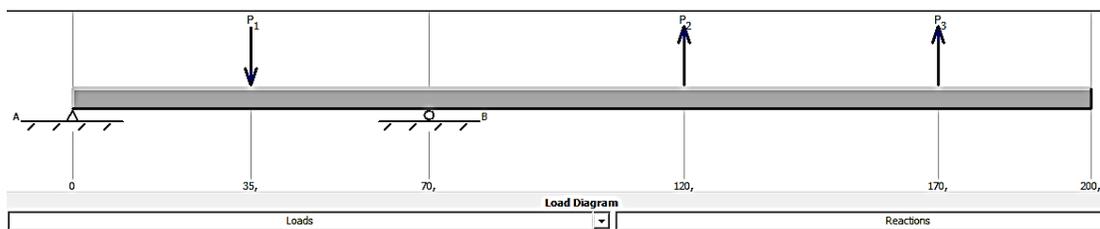


Figura 22. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano Y

Tabla 5.

Reacciones en el primer eje plano Y

FUERZA	CANTIDAD
R_{AY}	19,02 kN
R_{BY}	-38,15 kN
F_C	50 N
F_{YM}	11,64 kN
F_{YT}	7,69 kN

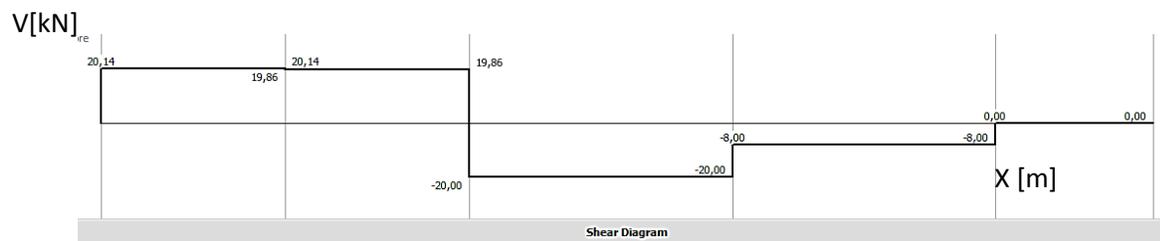


Figura 23. Diagrama fuerza cortante del primer eje en el plano Y

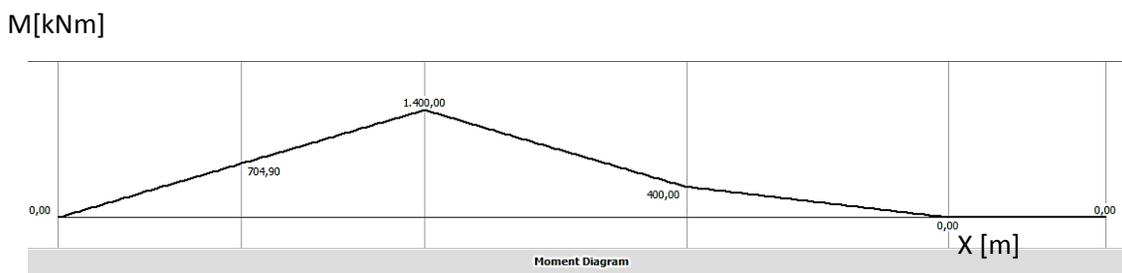


Figura 24. Diagrama de momento cortante del primer eje en el plano Y

Primer eje, Plano X

De la misma manera en que se realizó el análisis de fuerzas en el plano Y, se procede a realizar los en el plano X, que son en donde actúan las fuerzas sobre el eje. Obteniendo los siguientes resultados:

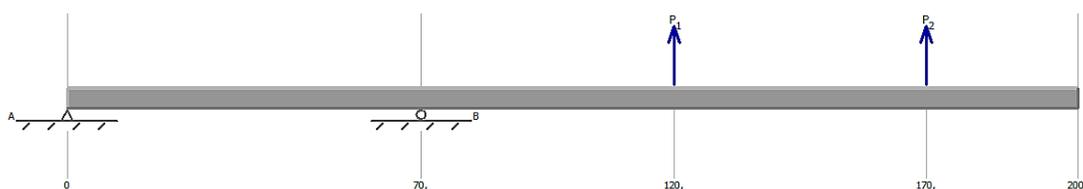


Figura 25. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano X

Tabla 6.

Fuerzas del primer eje en el plano X

FUERZA	CANTIDAD
R_{AX}	12,14 kN
R_{BX}	-24,15 kN
F_{XM}	6,72 kN
F_{XT}	4,38 kN

Tambien se han calculado las fuerzas cortantes y momentos flectores.

Tabla 7.

Reacciones en el primer eje plano X

PUNTO (mm)	CORTANTE (kN)	MOMENTO (kNm)
0	12,14	0
70	-12,14	0,83
120	-5	0,25
170	-0,94	0,01

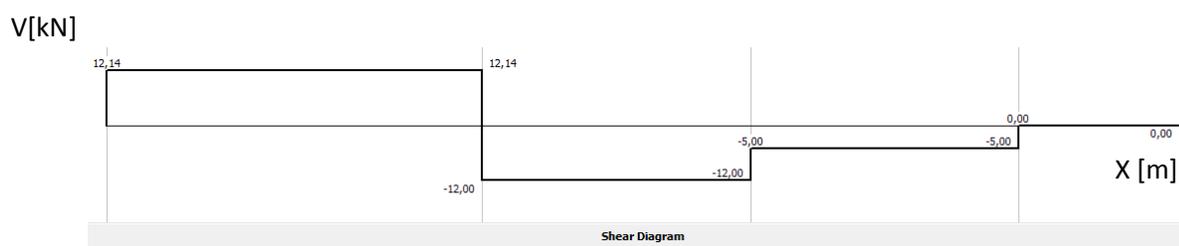


Figura 26. Diagrama de fuerza cortante en el primer eje plano X.

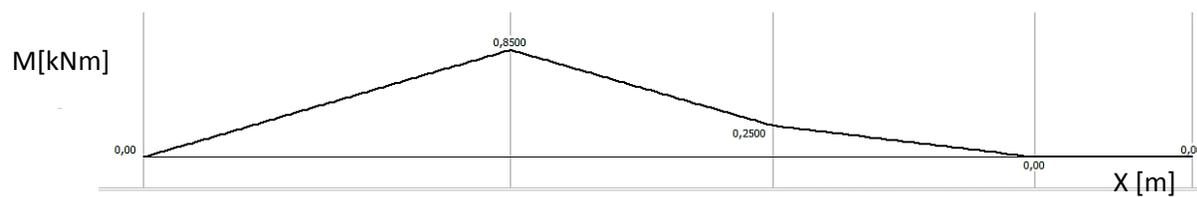
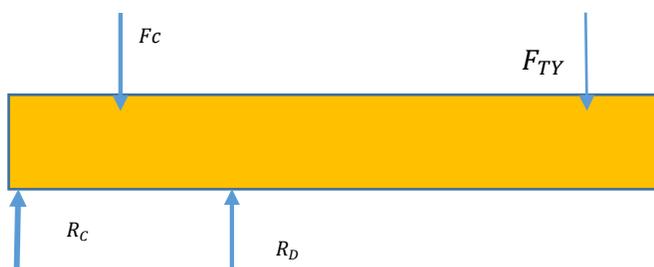


Figura 27. Diagrama momento flector en el primer eje plano X.

Segundo eje, Plano Y



Obteniendo las siguientes fuerzas:

Tabla 8.

Reacciones del segundo eje en el plano Y

FUERZA	CANTIDAD
R_C	-10,92 kN
R_D	18,56 kN
F_C	50 N
F_{TY}	7,58 kN

Diagrama cortante y momento flector.

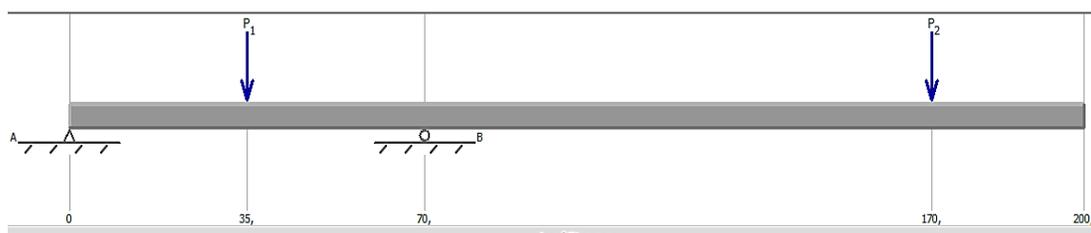
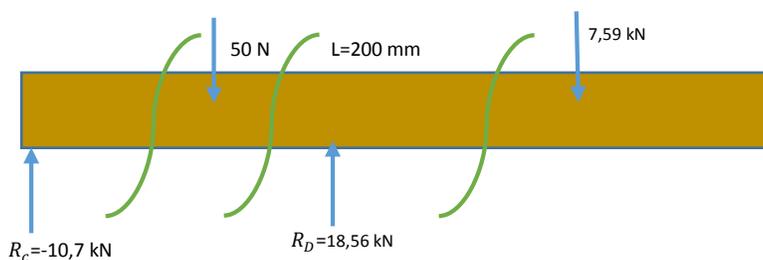


Figura 28. Esquema de fuerzas que actúan sobre el segundo eje plano Y

Seccionamiento segundo eje



Tambien se han calculado las fuerzas cortantes y momentos flectores.

Tabla 9.

Fuerzas del segundo eje en el plano Y

PUNTO (mm)	CORTANTE (kN)	MOMENTO (kNm)
0	-11,29	0
35	-11,57	-0,395
70	8	-0,83
120	8	0,05
170	0	0,01

EJE 2 PLANO Y

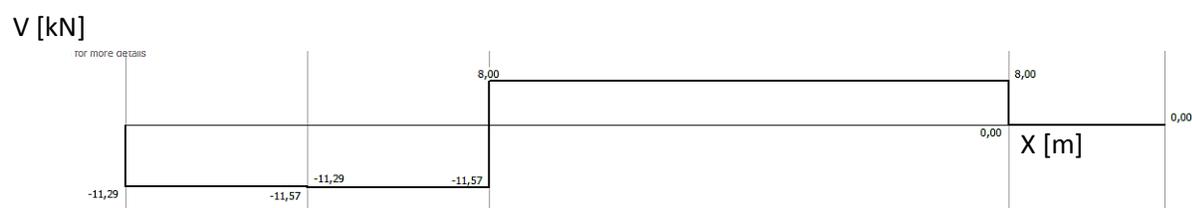


Figura 29. Diagrama de fuerza cortante en el segundo eje plano Y

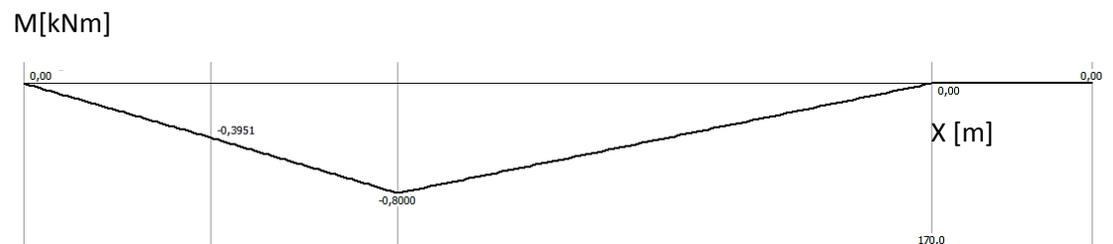


Figura 30. Diagrama momento flector en el segundo eje plano Y

EJE 2 PLANO X

También se han calculado las fuerzas cortantes y momentos flectores.

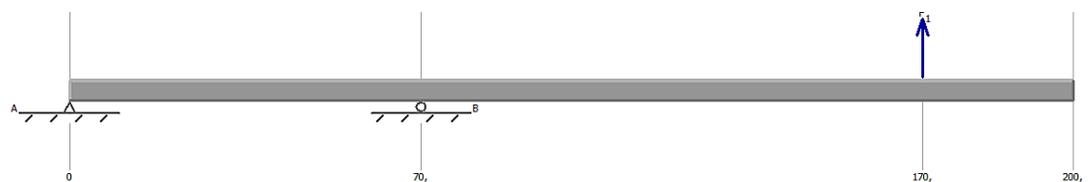


Figura 31. Esquema de fuerzas que actúan sobre el primer eje plano X

Tabla 10.

Fuerzas del segundo eje en el plano X

PUNTO (mm)	CORTANTE (kN)	MOMENTO (kNm)
0	7,14	0
70	7,14	0,5
120	-5	0,05
170	0,1	0,01

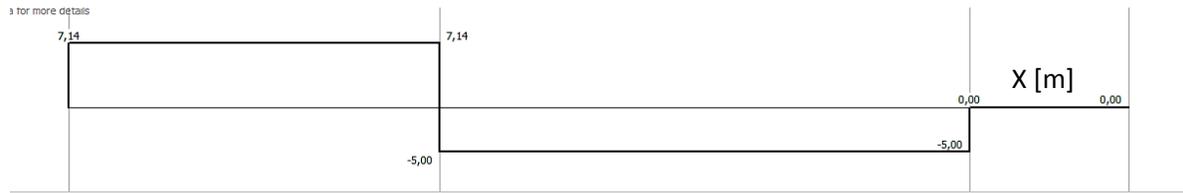


Figura 32. Diagrama de fuerza cortante en el segundo eje plano X

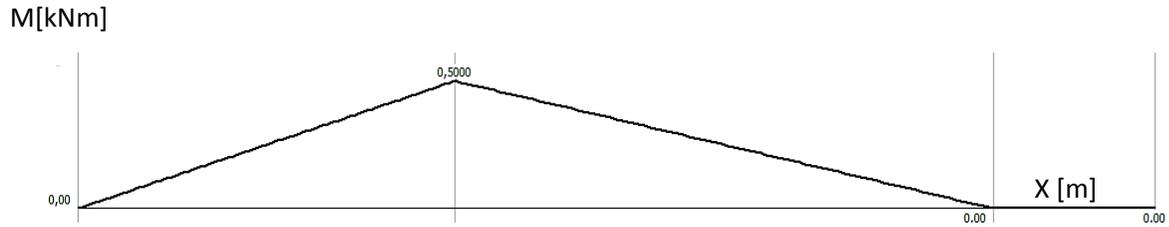


Figura 33. Diagrama momento flector en el segundo eje plano X

Se combina los planos ortogonales para obtener el momento total, se selecciona los puntos donde existe mayor concentración de momento flector.

Eje 1

Y) 1,40 kNm X) 0,85 kNm

$$M_a = \sqrt{(0,86)^2 + (1,4)^2}$$

$$M_a = 1,68 \text{ kNm}$$

$$T_m = 406,9 \text{ Nm}$$

Eje 2

Y) -0,8 kNm X) 0,5 kNm

$$M_a = \sqrt{(0,5)^2 + (0,5)^2}$$

$$M_a = 0,94 \text{ kNm}$$

$$T_m = 406,9 \text{ Nm}$$

Se determina que le momento máximo ocurre en el punto de reacción “b”, y tiene un valor de: $M = 1,68 \text{ kNm}$.

Y el torque máximo es el que ingresa al sistema $T_m = 406,9 \text{ Nm}$

Caracterización de esfuerzos para el acero AISI 1018

$$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$$

$$S_y = 370 \text{ MPa}$$

Donde:

S_{ut} = Resistencia ultima a la tensión

S_y = esfuerzo de fluencia

Factores de reducción de la resistencia:

Estos coeficientes sirven para justificar las diferencias físicas entre la muestra de prueba y al arte real que se diseña.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (3.6)$$

Donde:

S_e = limite de la resistencia a la fatiga corregido

K_a =Factor de condición superficial

K_b = Factor de tamaño

K_c = Factor de temperatura

K_d = Factor de temperatura

K_e = Factor de confiabilidad

K_f = Efectos varios

Factor de modificación de la condición superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 34. Tabulación de la condición superficial del elemento. (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (3.7)$$

$$= 2,70(64)^{-0,247}$$

$$k_a = 0,9$$

Donde:

a,b son parámetros en el factor superficial.

Factor de tamaño:

Como no presenta cargas axiales el valor es la unidad.

$$k_b = 1$$

Factor de temperatura:

Como el eje está sometido a flexión el valor de esta constante es la unidad.

$$k_c = 0,85$$

Factor de temperatura:

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura 35. Tabulación de datos del factor de temperatura (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)

El eje trabaja a temperatura ambiente, el valor de este coeficiente es la unidad.

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad:

Dependiendo de la confiabilidad que se presente en el material se asignan los valores tabulados.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 36. Tabulación del factor de confiabilidad (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)

Para el diseño de los ejes, se tendrá una confiabilidad de 95 %.

$$k_e = 1 - 0,08Z_1 \quad (3.8)$$

$$= 1 - (0,08 \times 1,645)$$

$$k_e = 0,868$$

Donde:

Z_1 = variación de transformación

Factor de efectos varios:

El eje no presenta, cambios de sección se puede asignar el valor de la unidad a esta constante.

$$k_f = 1$$

Límite de la resistencia a la fatiga:

Al ser ejes de acero, se presenta la siguiente fórmula.

$$S_e' = 0,5 \times S_{ut} \quad (3.9)$$

$$S_e' = 220 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0,9 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 0,868 \times 1 \times 220$$

$$S_e = 146,08 \text{ MPa}$$

Para encontrar el diámetro del eje se aplica la fórmula del criterio de Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (3.10)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \cdot kf \cdot Ma}{\pi \cdot d^3} \quad (3.11)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \cdot 1 \cdot 1680}{\pi \cdot (0,019)^3}$$

$$\sigma'_a = 242 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \cdot \left(\frac{16 \cdot kf \cdot Tm}{\pi \cdot d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \cdot \left(\frac{16 \cdot 1 \cdot 403,2}{\pi \cdot (0,019)^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = 518 \text{ MPa}$$

Con un factor de seguridad de 2,8.

$$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2k_f M_a}{S_e} + \frac{3(k_f T_m)^2}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Reemplazando los valores

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot 2,83}{\pi} \left(\frac{2 \cdot 1680}{146,08} + \frac{3(1 \cdot 406)^2}{440} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,022 \text{ m}$$

El diámetro seleccionado para la construcción del eje es de 20mm, ya que los soportes de la banda transportadora tienen un diámetro máximo de 20 mm. Y no permiten realizar ninguna modificación.

De la misma manera se realiza el análisis para el segundo eje

$$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2k_f M_a}{S_e} + \frac{3(k_f T_m)^2}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Reemplazando los valores

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot 2,83}{\pi} \left(\frac{2 \cdot 940}{146,08} + \frac{3(1 \cdot 406)^2}{440} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

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

Selección de rodamientos

“Si un cojinete está limpio y se lubrica de manera apropiada, si está montado y sellado para evitar la entrada de polvo y suciedad, si se mantiene en esta condición y si se hace funcionar a temperaturas razonables, entonces la fatiga del metal será la única causa de falla. Puesto que la

fatiga del metal implica muchos millones de aplicaciones de esfuerzo que se han soportado con éxito, se necesita una medida cuantitativa de la vida. Las medidas comunes son: El número de revoluciones del anillo interior (el anillo exterior esta inmóvil) hasta que se presenta la primera evidencia tangible de fatiga. El número de horas de uso a una velocidad angular estándar hasta que se advierte la primera evidencia tangible de fatiga.” (Budynas & Nisbett, 2008).

Este es un parámetro estocástico, las fallas en cojinetes se distribuyen estadísticamente de acuerdo a una distribución de Weibull, para saber este tipo de falla se siguen algunas recomendaciones y normas de la ABMA (American Bearing Manufacturers Association).

La vida útil de un rodamiento individual es definida como el número total de revoluciones de operación del rodamiento hasta que se indique el criterio de falla. Bajo condiciones ideales, la falla por fatiga consiste en el descascarado de las superficies de soporte de la carga.

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^\alpha \quad (3.12)$$

$$FL^\alpha = cte \quad (3.13)$$

$$C_{10} = F_R = F_D \left(\frac{L_D}{L_R} \right)^\alpha \quad (3.14)$$

$$C_{10} = F_D \left(\frac{\ell_D n_D 60}{\ell_R n_R 60} \right)^\alpha \quad (3.15)$$

Donde:

Los factores R y D, se refieren a Valorado y Deseado.

$\ell = \text{horas}$

$$n = \text{rev}/\text{min}$$

$$C_{10} = \text{carga valorada}$$

$$L = \text{vida del cojinete}$$

$$\alpha = 3, \text{ para rodamiento de bola}$$

Para los rodamientos de $\phi_i 20$ a $\phi_e 47$

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9	
52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304	
52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9	
72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404	

Figura 37 Selección del valor de carga dinámica para un rodamiento de $\phi_i 20$ mm (Fuente: Catálogo de rodamiento SKF).

Análisis de cálculo

Datos

Para estimar el tiempo deseado de vida del rodamiento, se analizó el tiempo de uso que se dará al sistema. Este no estará siempre en funcionamiento, por lo que se estima un tiempo de funcionamiento de 6 horas a la semana, en un promedio de 16 semanas al año, por un tiempo estimado de 5 años, dándonos un valor de 480 horas aproximadas de trabajo.

$$L_{R10} = 10^6 \text{ rev}$$

$$L_D = \mathcal{L}_D * 60 * n_D = 480 * 60 * 53$$

$$\mathcal{L}_D = 480 \text{ horas}$$

$$L_D = 1,5264 \times 10^6 \text{ rev}$$

$$n_D = 53 \text{ rpm}$$

$$F_D = 11,64 \text{ kN}$$

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D}{L_R} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 90 \%$$

$$= 11,64 \left(\frac{1,53 \times 10^6}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 13,402 \text{ kN}$$

$$C_{10} = 13,40 \text{ kN}$$

Según los cálculos obtenidos y basándose en el catálogo de rodamientos SKF (Véase Figura 37), se selecciona un rodamiento con código 6204.

Selección de chavetas

“La ASME define una cuña como una pieza de maquinaria desmontable que, cuando se ensambla en los cuñeros, brinda un medio positivo de transmisión del torque entre el eje y la maza.”

(Norton, 2011)

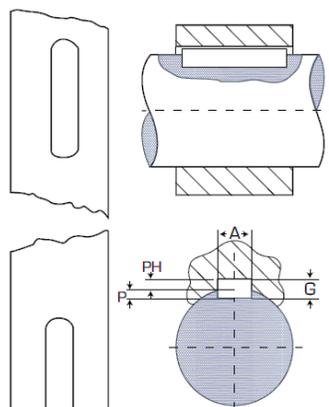


Figura 38. Posicionamiento y profundidad de cuñas y cuñeros (Fuente: Intermecc)

No importa a qué estándar pertenezcan, ni en que sitio del eje vayan, los cuñeros deben ser mecanizados del tipo de caja con los extremos en semicírculo para que no se corran axialmente.

Diámetro del eje (mm)	Anchura y profundidad del cuñero en el eje (mm)	Dimensiones de la cuña (mm)	Diámetro del prisionero (mm)
17+ a 22	6 x 3.2	6 x 6	6
22+ a 30	8 x 3.7	8 x 7	8

Figura 39. Cuñas y cuñeros disponibles en el mercado nacional (Fuente: Intermecc)

Los ejes poseen un diámetro de 20 mm, con este se selecciona la profundidad y ancho para para el cuñero, además el catálogo ya provee las dimensiones de la cuña y el pasador respectivo. Estos elementos deben ser de acero bajo en carbono debido a las cargas cortantes que puedan aparecer, estos elementos son diseñados para que fallen en caso de sobrecarga. (Intermecc, 2015)

$$\tau_{xy} = \frac{F}{Acorte} \quad (3.16)$$

$$A_{corte} = A \times L \quad (3.17)$$

En el caso del chavetero del primer eje.

Dimensiones chavetero: $L=10 \times 10^{-3}$ m, $A=6 \times 10^{-3}$ m.

$$\tau_{xy} = \frac{11,64 \text{ kN}}{0,00006 \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = 125,67 \text{ MPa}$$

$$fs = \frac{400 \text{ MPa}}{125,67 \text{ MPa}}$$

$$fs = 2,94$$

En el caso del chavetero del segundo eje.

Dimensiones chavetero: $L=20 \times 10^{-3}$ m, $A=6 \times 10^{-3}$ m.

$$\tau_{xy} = \frac{7,54 \text{ kN}}{0,00012 \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = 62,83 \text{ MPa}$$

$$fs = \frac{440 \text{ MPa}}{62,83 \text{ MPa}}$$

$$fs = 5,89$$

Donde:

$$\tau_{xy} = \text{esfuerzo cortante [N/m}^2\text{]}$$

A = ancho [m]

L = longitud [m]

Este valor representa el cortante máximo que puede soportar la cuña, para los ejes se han realizado tres cuñas y cuñeros, dos en el eje motriz en donde está la catalina principal, y uno donde va montada la catalina que transfiere el movimiento al segundo eje. El factor de seguridad muestra que el elemento tendrá capacidad suficiente para trabajar según los requerimientos.

Selección de pasadores

Los pasadores son diseñados a corte, de tamaño pequeño, esto sirve para limitar su capacidad de torque que transmite un eje (Trabaja como fusible), es un elemento de seguridad. (Juvinal & Marshek, 2016)

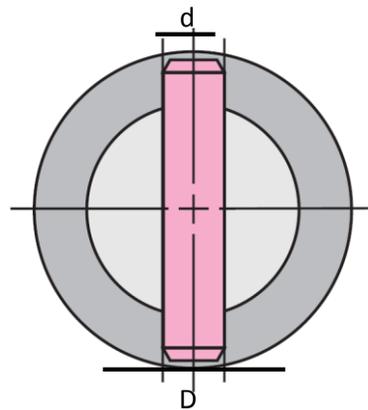


Figura 40. Tornillo Pasador (Fuente: Budynas & Nisbett, 2008)

$$T = \pi(d)^2(D) \frac{Ssy}{4} \quad (3.18)$$

$$T = \pi(0.008)^2(0.05) \frac{0,517 \times 370 \text{ MPa}}{4}$$

$$T = 480,76 \text{ Nm}$$

Donde:

T = torque del pasador [Nm]

d = Diámetro interno [m]

D = Diámetro externo [m]

S_{sy} = esfuerzo cortante máximo [Pa]

El valor obtenido del torque transportador es mayor al torque que entra en el sistema, por tal motivo no existe ningún problema con el pasador de AISI 1018, de esta manera, en los dos ejes construidos se han colocado pasadores que ayudan a los engranes plásticos a mover la cadena, impidiendo que se desplacen por la fuerza que se genera al moverse la banda.

Selección Catalinas

Para empezar, se debe tener en cuenta la potencia a transmitir, la capacidad de esta aumenta según el número de dientes de la catalina. Es primordial saber que el factor de servicio para un motor eléctrico es de 1. (Mott, 2006)

N = número de dientes

r = relación de transmisión

La velocidad de salida máxima que puede tener el sistema también se indica en la figura

41.

$$n_2 = n_1 \cdot \left(\frac{N1}{N2} \right) \quad (3.20)$$

$$n_2 = 300 \text{ rpm}$$

Donde:

n = velocidad [rpm]

Ahora se procede a calcular la longitud de cadena necesaria que se necesita para unir las dos catalinas. La distancia entre centros de las catalinas es de 150 mm, que a su vez es la distancia entre soportes de los ejes en la banda transportadora.

$$L = 2 \left(c + \frac{N2 + N1}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4c\pi} \right) \quad (3.21)$$

$$L = 2 \left(15 + \frac{52}{2} \right)$$

$$L = 81 \text{ cm}$$

Donde:

L = longitud de la cadena

c = distancia entre centros

Como se muestra en el cálculo anterior, se necesita 81cm de largo de cadena para poder unir las dos catalinas. Una adecuada longitud de cadena es necesaria para tener una buena transmisión de potencia. En el catálogo se seleccionan piñones simples del mismo paso y número de dientes para mover los ejes de la banda transportadora (Véase figura 42).

N° de dientes N. de dents No. Teeth	N° de catálogo Número de catalogue Catalog Number	Diám. ext. Diámetro ext. Outside Diameter	Tipo Type	Agujeros (pulgadas) Alésés (pouces) Bore (inches)		Buje (pulgadas) Moyeu (pouces) Hub (inches)		Peso en libras (aprox) Poids en livres (environ) Weight Lbs. (Approx)	Tipo Type	N° de catálogo Número de catalogue Catalog Number	Diám. int. estándar standard Stock Bore	Peso en libras (aprox.) Poids en livres (environ) Weight Lbs. (Approx.)
				Estándar Standard Stock	Diám. int. Diám. int. max. Rec. Max	Diámetro Diameter	Longitud int. Longueur int. Length Thru					
8	40B1Z8	1.500	B	1/2	1/2	3/2	3/8	.18				
9	40B1Z9	1.670	B	1/2	5/8	1 1/8	3/8	.20				
10	40B1Z10	1.840	B	1/2	3/4	1 1/4	3/8	.27				
11	40B1Z11	2.000	B	1/2	1/2	1 1/2	3/8	.35				
12	40B1Z12	2.170	B	1/2	1	1 5/8	3/8	.45	A	40A1Z12	1/2	.18
13	40B1Z13	2.330	B	1/2	1 1/8	1 7/8	3/8	.50	A	40A1Z13	1/2	.22
14	40B1Z14	2.490	B	1/2	1 1/4	1 7/8	3/8	.59	A	40A1Z14	1/2	.26
15	40B1Z15	2.650	B	1/2	1 1/2	1 7/8	3/8	.70	A	40A1Z15	3/8	.30
16	40B1Z16	2.810	B	3/8	1 1/2	2	3/8	.79	A	40A1Z16	3/8	.34
17	40B1Z17	2.980	B	3/8	1 5/8	2 1/8	1	1.04	A	40A1Z17	3/8	.36
18	40B1Z18	3.140	B	3/8	1 3/4	2 1/8	1	1.22	A	40A1Z18	3/8	.44
19	40B1Z19	3.300	B	3/8	1 3/4	2 1/2	1	1.43	A	40A1Z19	3/8	.46
20	40B1Z20	3.460	B	3/8	1 7/8	2 3/8	1	1.56	A	40A1Z20	3/8	.56
21	40B1Z21	3.620	B	3/8	1 7/8	2 3/4	1	1.73	A	40A1Z21	3/8	.58
22	40B1Z22	3.780	B	3/8	1 7/8	2 3/4	1	1.96	A	40A1Z22	3/8	.66
23	40B1Z23	3.940	B	3/8	2	3	1	2.13	A	40A1Z23	3/8	.72
24	40B1Z24	4.100	B	3/8	2 1/8	3 1/4	1	2.41	A	40A1Z24	3/8	.82
25	40B1Z25	4.260	B	3/8	2 1/8	3 1/4	1	2.54	A	40A1Z25	3/8	.88
26	40B1Z26	4.420	B	3/8	2 1/8	3 1/2	1	2.58	A	40A1Z26	3/8	.94
27	40B1Z27	4.580	B	3/8	2 1/8	3 1/2	1	2.66	A	40A1Z27	3/8	.98

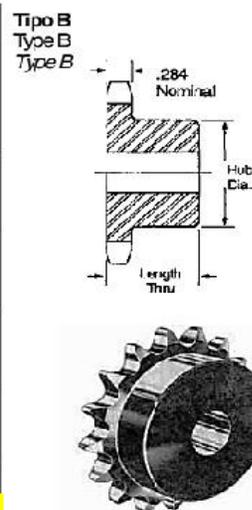


Figura 42. Catálogo de catalinas (Fuente: Translink, 2018)

3.3.1.2. Relación de velocidad

Marcha directa

La marcha directa depende del motor, este transmite su potencia al piñón del eje motriz y este comparte su eje con la catalina que transmite el movimiento a la siguiente catalina mediante una cadena, de esta forma, el sistema empieza a girar en una dirección.

Para la primera marcha la salida del sistema es de un tren de engranajes compuesto.

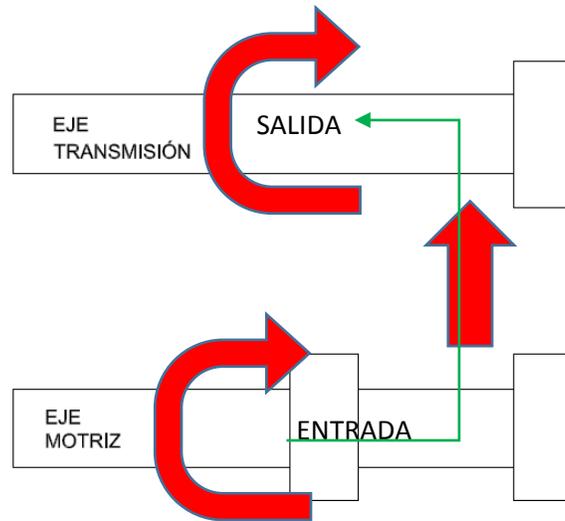


Figura 43. Transmisión directa.

$$r_t = \frac{\text{conducidos}}{\text{conductores}} \quad (3.22)$$

$$r_t = \left(\frac{Z_{\text{transmisión}}}{Z_{\text{motriz}}} \right)$$

$$r_t = \left(\frac{26}{25} \right)$$

$$r_t = 1,04$$

Donde:

r_t = relación de transmisión [rpm]

Una vez obtenida la relación de transmisión, se procede al cálculo de las revoluciones de salida:

$$\frac{r_{\text{entrada}}}{r_{\text{salida}}} = r_t$$

$$r_{salida} = \frac{r_{entrada}}{r_t}$$

Se asume que la relación de entrada con el valor de 1

$$r_{salida} = \frac{1}{r_t}$$

$$r_{salida} = 0,9655$$

La relación será 1: 0,9655, esta relación muestra que se transmite una velocidad muy semejante a la última catalina

Marcha reversa

La marcha reversa se la logra mediante un variador de frecuencia que invierte el sentido de giro del motor. Así, la entrada de potencia de esta marcha resulta ser la misma que la marcha directa, por lo que se tiene:

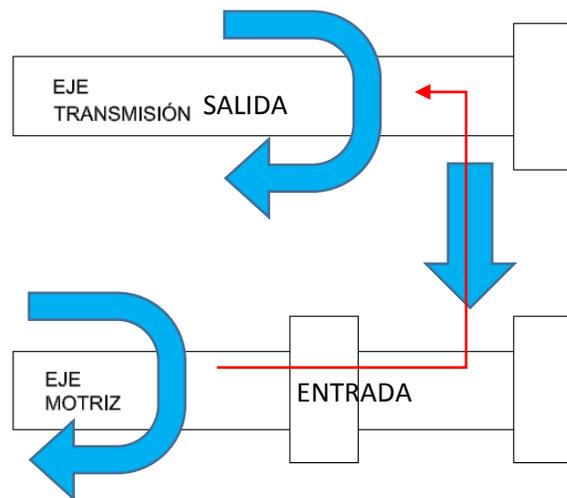


Figura 44. Transmisión reversa.

$$r_t = \frac{\text{conducidos}}{\text{conductores}}$$

$$r_t = \left(\frac{Z_{\text{transmisión}}}{Z_{\text{motriz}}} \right)$$

$$r_t = \left(\frac{26}{25} \right)$$

$$r_t = 1,04$$

Una vez obtenida la relación de transmisión, se procede al cálculo de la relación de salida:

$$\frac{r_{\text{entrada}}}{r_{\text{salida}}} = r_t$$

$$r_{\text{salida}} = \frac{r_{\text{entrada}}}{r_t}$$

Se asume que la relación de entrada con el valor de 1

$$r_{\text{salida}} = \frac{1}{r_t}$$

$$r_{\text{salida}} = 0,97$$

La relación será 1: 0,97

Al comparar las relaciones de salida, tanto en sentido directo como en reversa, se concluye que las velocidades serán las mismas ya que no existe ninguna variación en la configuración de sus elementos motrices.

3.3.1.3. Diseño soporte acople banda

Para realizar la pieza idéntica y con las mismas propiedades de la original, se ha escaneado esta pieza mediante un escáner en 3D. Y posteriormente con un programa de pos procesado, se ha realizado las correcciones y relleno de pieza que se genera con el software de escaneo.



Figura 45. Engrane de transmisión de potencia originario de la banda.

El equipo utilizado para el escaneo en 3D se muestra en la figura 46. Este por medio de un haz laser, calcula la distancia desde el emisor hasta los puntos de mallado, estos puntos refractarios se los coloca de manera triangular sobre la pieza a escanear para crear una malla y así regenerar la figura en un modelo CAD.



Figura 46. Equipo de escaneo en 3D.



Figura 47. Escaneo 3D de acople perteneciente a la banda

Para la edición y solidificación del escaneado, se utilizó el software Meshlab. Este es un software de código abierto para procesar y editar mallas triangulares 3D. Este software proporciona un conjunto de herramientas para editar, limpiar, curar, inspeccionar, renderizar, texturizar y convertir mallas. Ofrece funciones para procesar datos en bruto producidos por

dispositivos / herramientas de digitalización 3D y para preparar modelos para la impresión 3D.
(Meshlab, 2018)

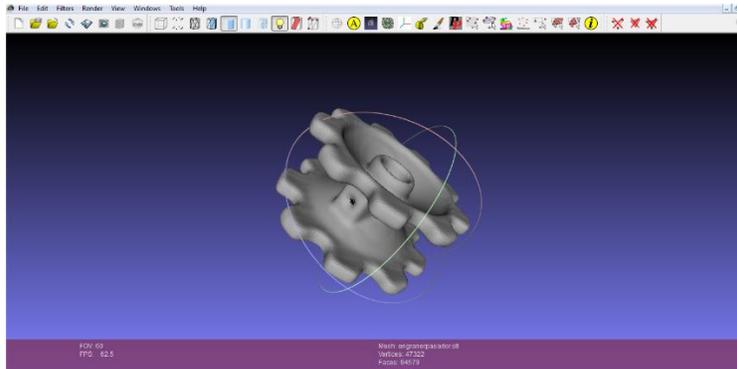


Figura 48. Renderizado de engrane de transmisión.

Posterior al procesamiento de los datos obtenidos al escanear la pieza origina, se ha realizado la simulación del engrane en un software CAD (véase figura 49). Aquí se puede apreciar que la cara de las crestas del engrane que están en contacto directamente con la cadena de la banda transportadora El esfuerzo a la última tensión del ABS (acrilo nitrilo butadieno estireno) es:

$$S_{ut} = 440MPa$$

Y el esfuerzo admisible del engrane simulado es de:

$$S_{adm} = 83 MPa$$

Obteniéndose un factor de seguridad de:

$$Fs = \frac{440 MPa}{83 MPa}$$

$$Fs = 5,30$$

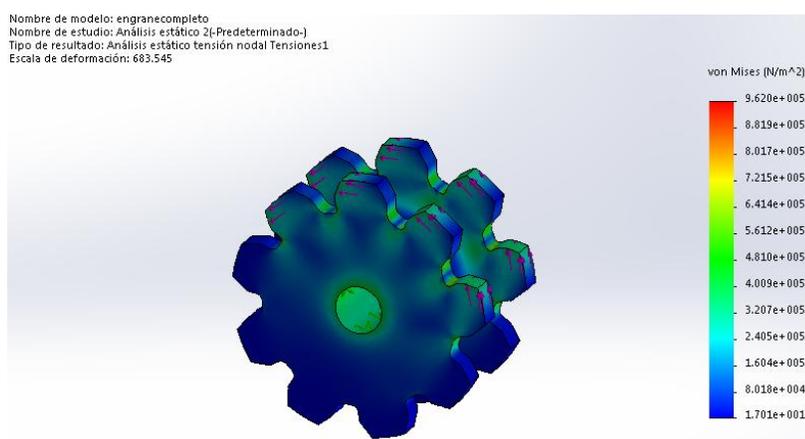


Figura 49. Análisis de Von Mises sobre el elemento escaneado



Figura 50. Impresión 3D del engrane escaneado.

Finalmente, después de hacer un análisis de los esfuerzos para conocer si el elemento trabajará de manera adecuada para el uso programado, se procede a hacer una impresión 3D del mismo con plástico ABS como material (Véase figura 50).

3.3.1.4. Diseño soporte de estaciones de trabajo.

Tomando en cuenta las características técnicas y requerimientos del presente trabajo, se ha planteado la siguiente matriz QFD para la selección del material base de las estaciones de trabajo.

Tabla 11.
Matriz QDF para la selección de material

Características técnicas		Importancia para el cliente (1 al 5)	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td> </tr> <tr> <td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td> </tr> </table>												1	1	1			3	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4
		1	1	1																										
	3	4	5	4	3																									
4	4	4	4	4	4																									
Requerimientos del usuario		Modulares	Resistencia a la tensión	Peso	Fácil colocación																									
		1	2	3	4																									
1	Maquinabilidad	3	4	5	4	5																								
2	Resistencia	4	4	3	3	5																								
3	Anticorrosivo	2	3	5	4	2																								
4	Económico	5	4	4	5	4																								
Importancia ponderada respecto a los requerimientos del cliente (absoluta)		80	75	50	65																									
Importancia ponderada respecto a los requerimientos del cliente (relativa)		3,75	4,25	4	4																									
Evaluación ponderada de los requisitos del cliente respecto a los del producto		ABSOLUTA	160	150	100	130																								
		RELATIVA	7,5	8,5	8	8																								

En la tabla se muestra el orden de importancia de las características técnicas, obtenidas en la matriz QFD.

Tabla 12.

Orden de importancia de las características técnicas que debe tener el material base obtenidos de la matriz QFD

Orden de importancia	Características Técnicas	Puntuación obtenida
1	Resistente	8,5
2	Peso	8
3	Fácil colocación	8
4	Modular	7,5

Se determina que lo más importante para la construcción de las estaciones de trabajo, es que estas deben ser resistentes y durables. Como no existe un amplio rango con los otros puntos, se ha propuesto construir las estaciones de trabajo de planchas de aluminio 1060 de 2 mm de grosor o superiores a este, por su excelente resistencia a la corrosión y fácil maquinabilidad.

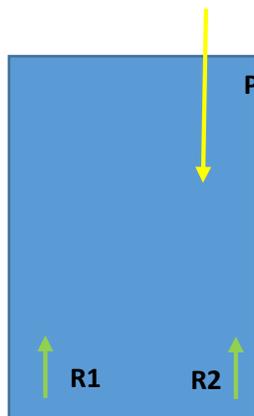
Para analizar los esfuerzos y deformaciones que pueden existir en las bases de las estaciones se utiliza el método de elementos finitos por discretización de triángulos, para ello, se hace uso de un software de diseño mecánico. Se asignan las restricciones de movimiento y las cargas a las cuales va a estar sometido.

Cabe recalcar que en las estaciones de llenado y control de calidad se usan solo luces indicadoras, por lo que, la construcción de bases se la realizó únicamente para las estaciones de sellado, etiquetado y empaquetado.

Base para la segunda estación

La forma de esta base se debe a que en ella irá montado un pistón neumático vertical. Cabe recalcar que en la presente estación se hace uso de aluminio de 4mm de espesor.

Primero se desarrolló el análisis de cuerpo libre y las simulaciones del caso para saber el desplazamiento y resistencia del material utilizado. La fuerza generada por el pistón se la ha calculado en la Sección 3.3.2.1.



$$\sum F_y = 0$$

$$P - 2R = 0$$

$$294,52 - 2R = 0$$

$$R = 147,26 \text{ N}$$

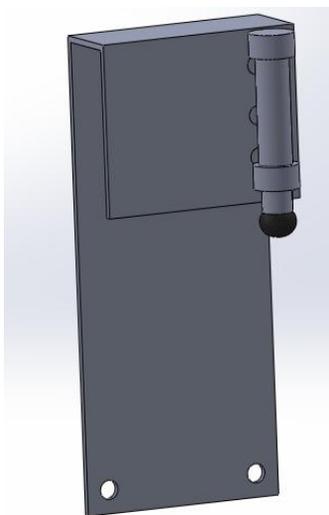


Figura 51. Diseño de la segunda estación de trabajo en un software CAD.

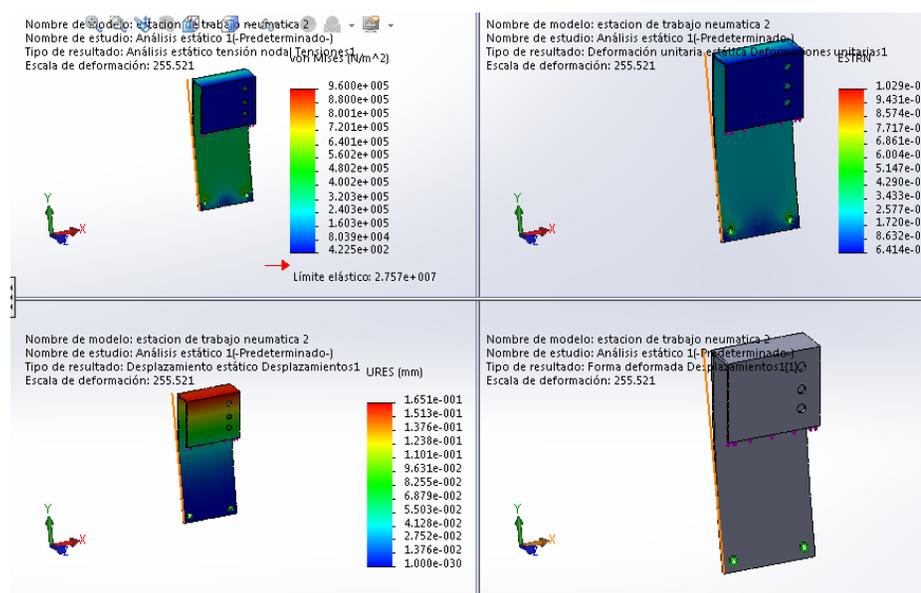


Figura 52. Análisis de esfuerzos y deformaciones utilizando software CAD.

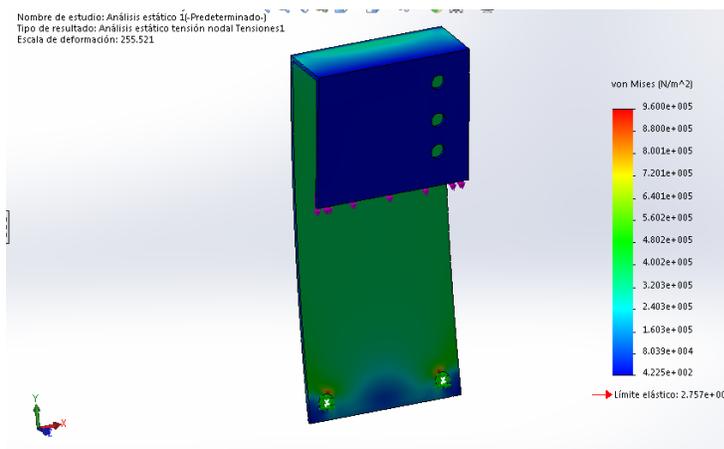


Figura 53. Simulación de carga con software CAD, análisis de esfuerzos de Von Mises.

El gráfico de convergencia indica la máxima tensión de Von Mises en el elemento dependiendo de número de bucles que se desee. El valor de la tensión se vuelve más confiable con tamaños de elementos más pequeños.

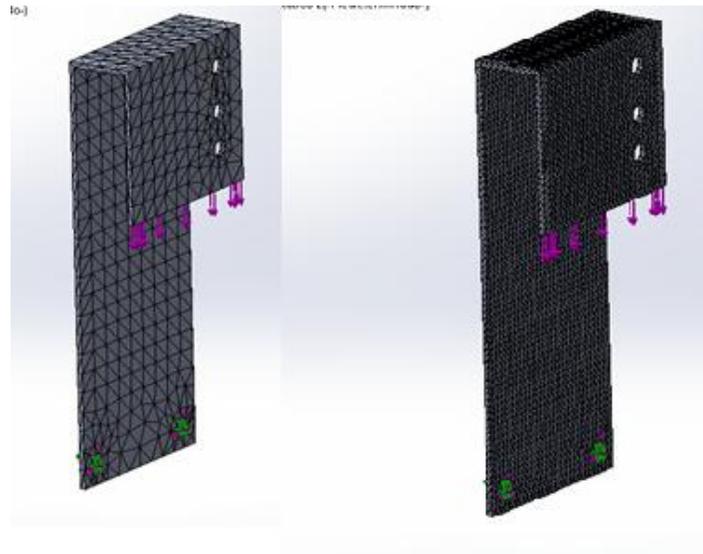


Figura 54. Mallado Grueso (izq) - Mallado fino (der)

Se utilizó el método “p” de la solución adaptativa este método solo funciona con elementos sólidos, para realizar el gráfico de convergencia de Von Mises. Consiste en la utilización de elementos más eficaces en regiones con altos niveles de error.

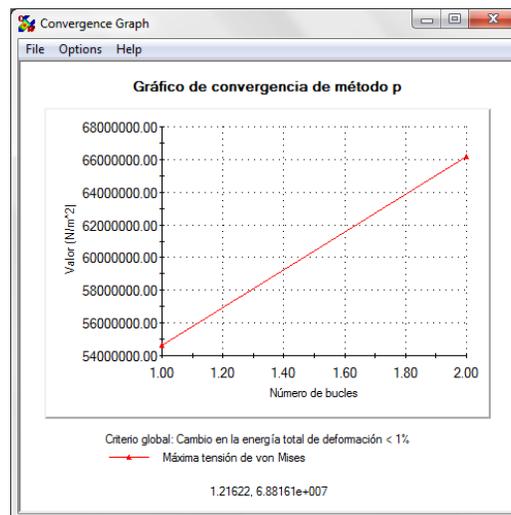


Figura 55. Convergencia de malla estación 2

Como se puede apreciar en la figura 53, la carga generada por el pistón no desplaza más de las limitaciones de la banda, ya que en el filo de estas se encuentran los rieles de transporte de los pallets y tiene las sujeciones empotradas a las canaletas de aluminio. Se puede observar que no se generan esfuerzos que sobrepasen el límite elástico del material.

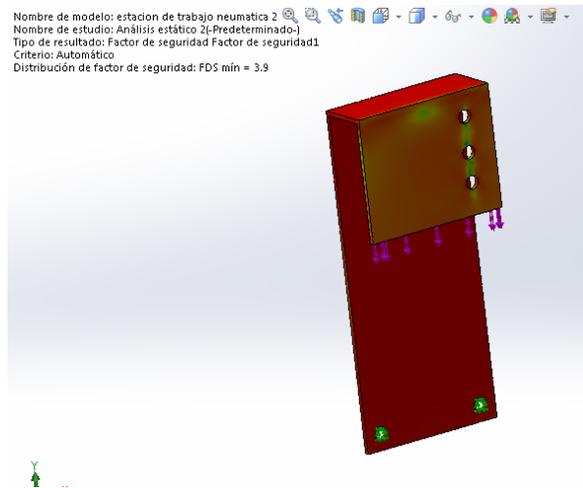
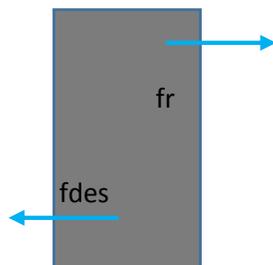


Figura 56. Factor de seguridad de la estación 2

Base para la tercera estación

El diseño que tiene esta estación se debe a que en ella irá montado un pistón neumático de forma horizontal ya que se emula el movimiento respectivo para el etiquetado. En la presente estación, a diferencia de la estación de sellado y empaquetado, se usa material de 2mm de espesor.

Se procede a realizar el análisis estático y el diseño de la tercera estación. Al igual que la estación de sellado, se hace un análisis de los esfuerzos a los que se verá sometida.



$$\sum F_x = 0$$

$$f_r - F_{des} = 0$$

$$\mu N = F_{des}$$

$$0,6 \cdot 294 = F_{des}$$

$$F_{des} = 176,4 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N = P$$

$$N = 294 \text{ N}$$

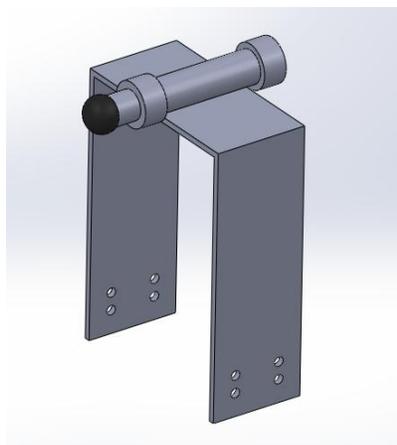


Figura 57. Diseño de la tercera estación de trabajo en un software CAD.

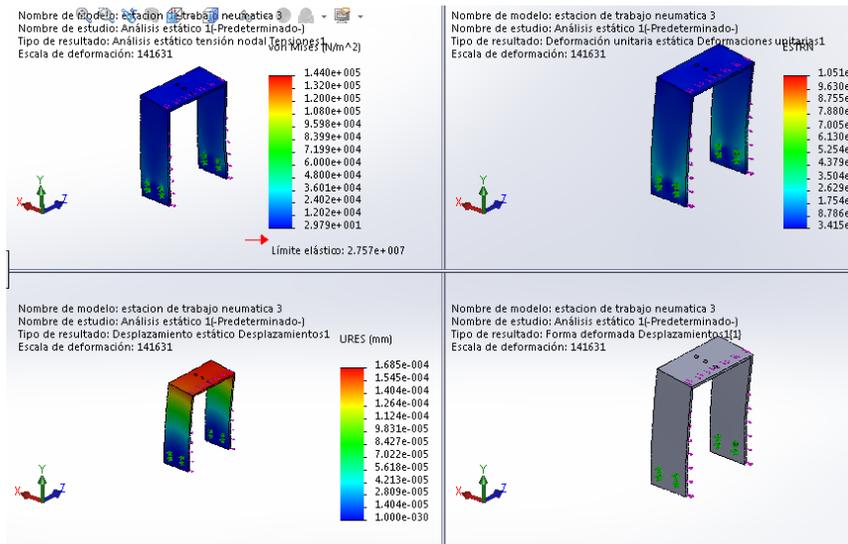


Figura 58. Simulaciones de análisis de carga utilizando software CAD.

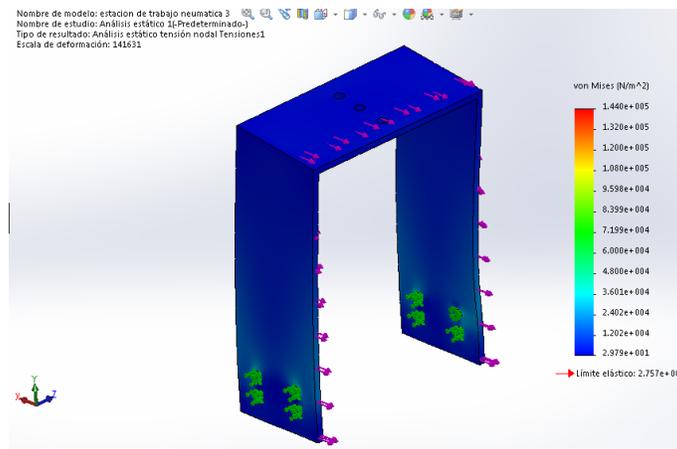


Figura 59. Resultados del análisis de Von Mises.

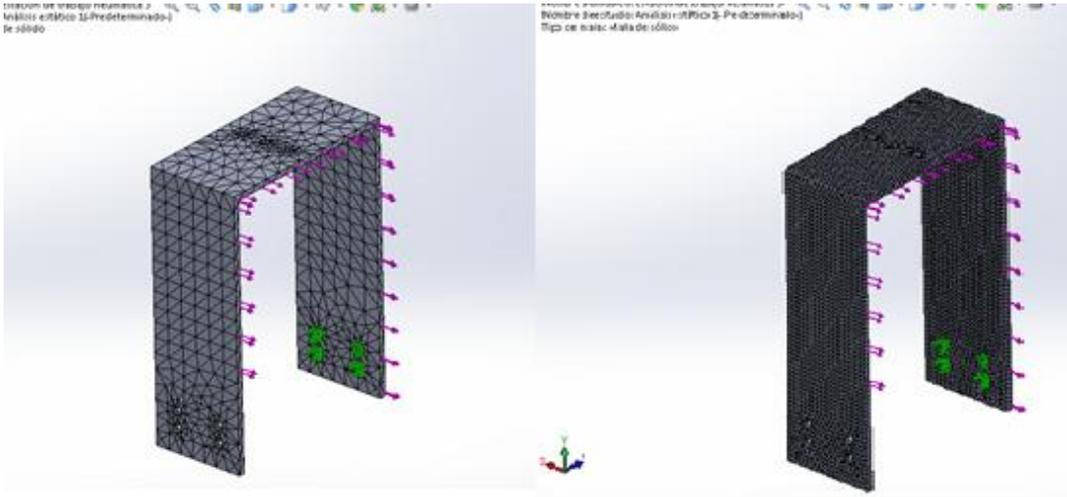


Figura 60. Mallado Grueso (izq) - Mallado fino (der)

El método “p” adaptativo no altera la malla, sino que cambia el orden de los polinomios utilizados para aproximar el campo de desplazamiento. La utilización de un orden polinomial unificado para todos los elementos no resulta eficaz. (Métodos , 2018)

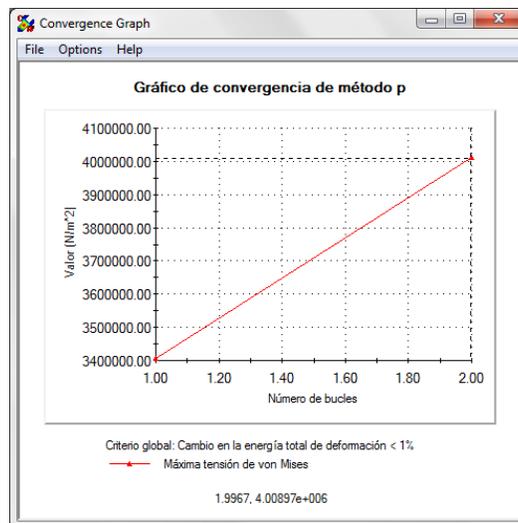


Figura 61. Convergencia de malla estación 3

En el análisis de Von Mises existe un mínimo desplazamiento, este se debe a que choca con las aletas de sujeción con los rieles de la banda transportadora y tiene una carga del pistón aplicada en manera horizontal.

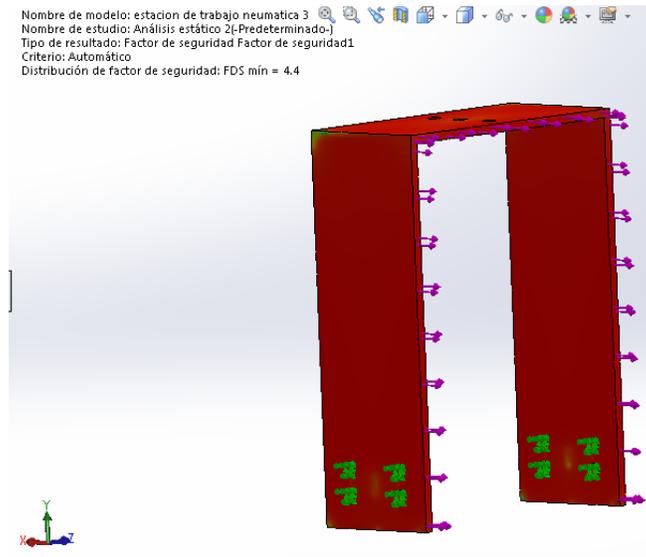


Figura 62. Factor de seguridad para la estación 3

Base para la quinta estación.

El diseño que tiene esta estación, se debe a que en ella irá montado un pistón neumático de forma horizontal ya que se emula el movimiento respectivo para el etiquetado.

Se procede a realizar el diseño de la quinta estación. Al igual que la estación de etiquetado, se hace un análisis de los esfuerzos a los que se verá sometida. Esta estación, al igual que la estación de sellado, tiene aluminio 1060 de 4mm de espesor, lo que la diferencia de esta es su forma, pues posee una disposición distinta por el montaje del pistón neumático, por lo que se requiere un nuevo análisis.

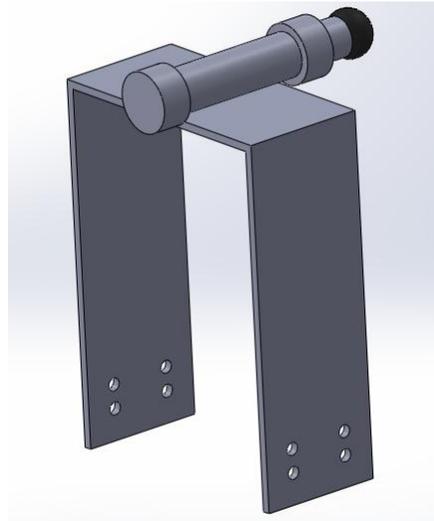


Figura 63. Diseño de la quinta estación de trabajo en un software CAD.

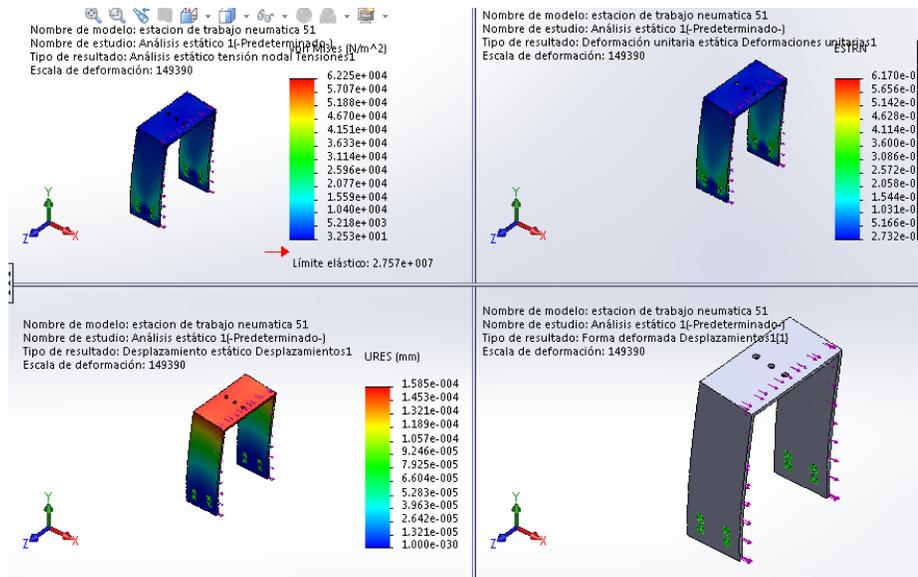


Figura 64. Simulaciones de análisis de carga utilizando software CAD.

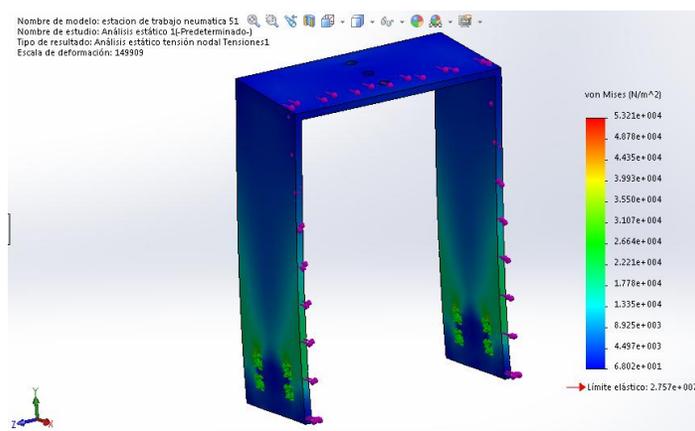


Figura 65. Simulación de carga con software CAD, análisis de esfuerzos de Von Mises.

En esta estación al igual que en la estación tres, se tiene un pequeño desplazamiento que se produce debido al contacto de las aletas de sujeción con los rieles de la banda; E igualmente, una fuerza que se genera al desplazarse el pistón horizontalmente. Además, cabe recalcar que no existen otras cargas que deformen la estación de trabajo.

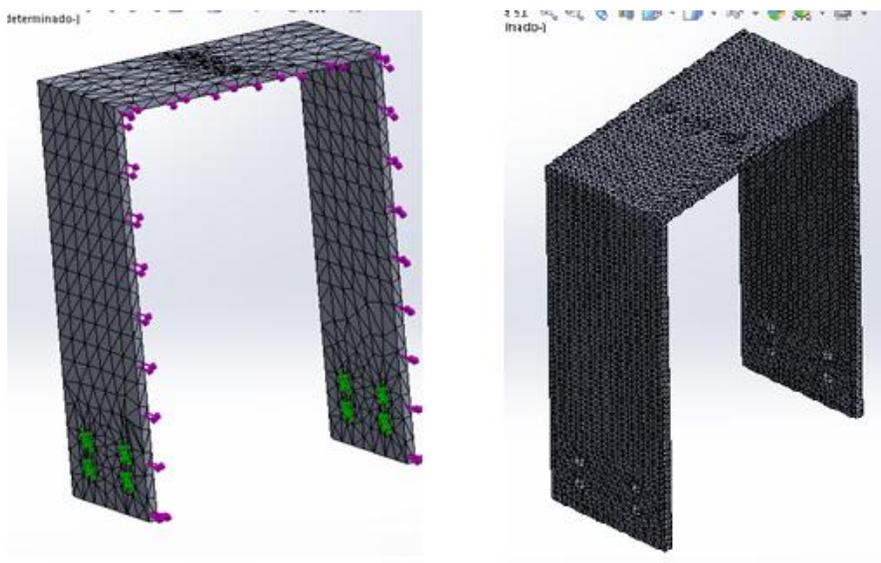


Figura 66. Mallado grueso (izq) - Mallado fino (der)

El tamaño de malla es más óptimo con un menor número de elementos en su mallado, ya que brinda una mejor confiabilidad a diferencia de con un número mayor. P inicial, Establece el orden a aplicar en el primer bucle. El orden menor es 2 y el mayor es 5. P final Establece el orden p más alto a utilizar. El orden más alto posible es 5. El número máximo de bucles es 4.

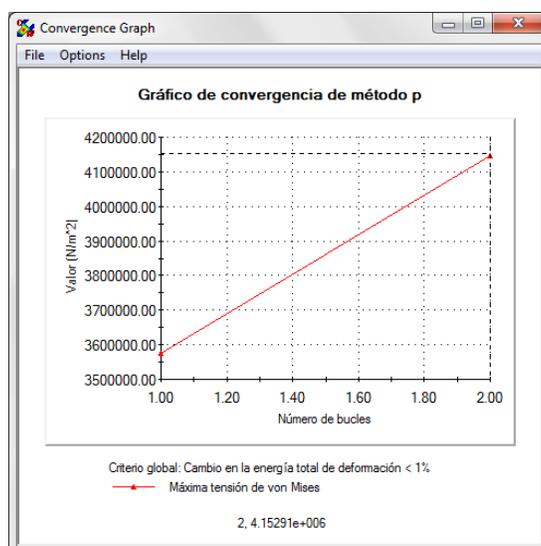


Figura 67. Convergencia de malla estación 5

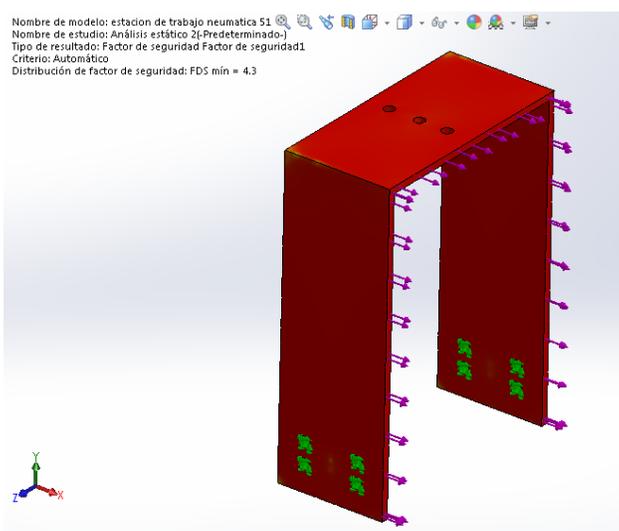


Figura 68. Factor de seguridad para la estación 5

3.3.2. Diseño sistema neumático

El objeto de un análisis breve del sistema neumático es garantizar que la cantidad y presión de aire sean las adecuadas. Cabe recalcar que ha sido necesario tomar en cuenta la disponibilidad de herramientas y recursos que posee el laboratorio.

Componentes de la red de aire comprimido

Los principales componentes de la red de aire comprimido son:

- Unidad de compresión: 30GAL - 3HP - 120PSI - 14CFM
- Línea principal: 10mm – 2m
- Línea de distribución: 8mm – 12m
- Línea de servicio: 5mm – 35m
- Herramientas: Acoples 10mm a 8mm – 8mm a 6mm – 6mm a 5mm
- Separador: Unidad de mantenimiento 0...10BAR – 25uM – 50°C
- Válvula de paso: ¼”

(AtlasCopco, 1986)

3.3.2.1. Actuadores

Los actuadores son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. (Majumdar, 1997)

Pistones neumáticos



Figura 69. Pistón neumático.

Los pistones son dispositivos motrices en los equipos neumáticos ya que transforman la energía estática del aire a presión, en movimientos rectilíneos de avance y retroceso. Las acciones que realizan los cilindros son las de empujar y/o halar. (Álvarez & Salazar, 2012)

Según el principio de operación existen 2 tipos de pistones neumáticos: Simple efecto y Doble efecto. (Álvarez & Salazar, 2012)

Cálculo de fuerza en pistones

Para calcular la fuerza que necesita el pistón, se parte del concepto básico de presión y su fórmula correspondiente:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.23)$$

Dónde:

P = Presión [N/cm²]

F = Fuerza [N]

A = Área del embolo [cm²]

Despejando la fuerza de la fórmula, tenemos:

$$F = P \cdot A$$

El valor de la presión estandarizado a nivel industrial es de 6bar, por tanto, la fuerza del pistón dependerá directamente del área del émbolo. (Mott R. , 2006)

En el presente proyecto los cilindros neumáticos serán utilizados para el desplazamiento de elementos que simulen el transporte de botellas, ya que, como se mencionó inicialmente, se simulará un proceso de embotellamiento para la comprobación del funcionamiento de la banda. A partir de esto, se ha determinado una masa máxima de 350 gr para los elementos que pueden ser transportados, lo que nos da a conocer que se necesita una fuerza mínima de 3.5 N para mover el elemento.

$$A = \frac{F}{P} \quad (3.24)$$

$$A = \frac{3.5 \text{ N}}{60 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$A = 0.058 \text{ cm}^2$$

El valor del área obtenido se muestra muy pequeño, ya que la fuerza que se requiere también lo es. Para seleccionar el pistón adecuado, se deberá seleccionar uno que tenga un área de émbolo igual o mayor a la calculada.

Se procede a hacer el análisis con un micro cilindro SMC Serie C85 propio del Laboratorio de Control Industrial, este se caracteriza por tener un diámetro de émbolo de 25 mm y carrera de 15 mm. Para calcular el área que el émbolo del pistón posee se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

Donde:

D = diámetro del émbolo [cm]

$$A = \frac{2.5^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 4.91 \text{ cm}^2$$

Ahora se calcula el valor de la fuerza:

$$F = P \cdot A$$

$$F = \left(60 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}\right) (4.91 \text{ cm}^2)$$

$$F = 294.52 \text{ N}$$

Al comparar los valores de A y F del pistón disponible con los valores mínimos requeridos por el sistema, se puede notar que son lo suficientemente grandes como para concluir que el pistón propuesto es adecuado para un correcto funcionamiento.

3.3.2.2. Válvulas distribuidoras

Las válvulas distribuidoras o válvulas de vías, son las encargadas de dirigir el aire hacia los lugares previstos en el sistema de mando. (Álvarez & Salazar, 2012)

Selección de las válvulas

Para la selección de las válvulas neumáticas se ha tomado en cuenta factores como: elementos a intervenir, presión de trabajo, número de vías, número de posiciones, accionamiento, propiedades específicas.

Como se ha ido describiendo a lo largo del documento, se sabe que se usarán actuadores neumáticos que trabajarán independientemente por lo que se requiere una válvula para cada uno de estos. La presión de trabajo predeterminada en el laboratorio es de 6 bar, tomando en cuenta

pérdidas de presión, tomaremos una presión de trabajo de 5 bar, para lo cual se necesitan válvulas que trabajen con una presión igual o mayor a esta. Los cilindros simple efecto pueden trabajar con válvulas de 3/2. Al igual que los cilindros simple efecto, se usará válvulas 3/2 para los frenos neumáticos correspondientes a cada estación. El accionamiento de las válvulas es a través de solenoides debido a que se trabajan con un PLC.

Según los parámetros descritos anteriormente, se propone usar una válvula múltiple la cual contiene 8 válvulas 3/2, la misma que formaba parte del tablero de control anterior que poseía la banda. Tras una verificación preventiva se corroboró que posee las características necesarias para realizar un trabajo adecuado.

3.3.2.3. Tubería

Una vez seleccionados los actuadores neumáticos, se procede al cálculo de las pérdidas de presión, para finalmente obtener el diámetro de tubería adecuado para un correcto desempeño del sistema.

Longitud de tuberías

En el presente proyecto se hará uso de tubería de poliuretano. El sistema neumático dispondrá de nueve líneas con las descripciones siguientes:

Tabla 13.
Longitudes en líneas de tubería

Referencia	Longitud (m)
Línea 1	10
Línea 2	2.5
Línea 3	5
Línea 4	3
Línea 5	2.5
Línea 6	2
Línea 7	5
Línea 8	3
Línea 9	2
TOTAL	35

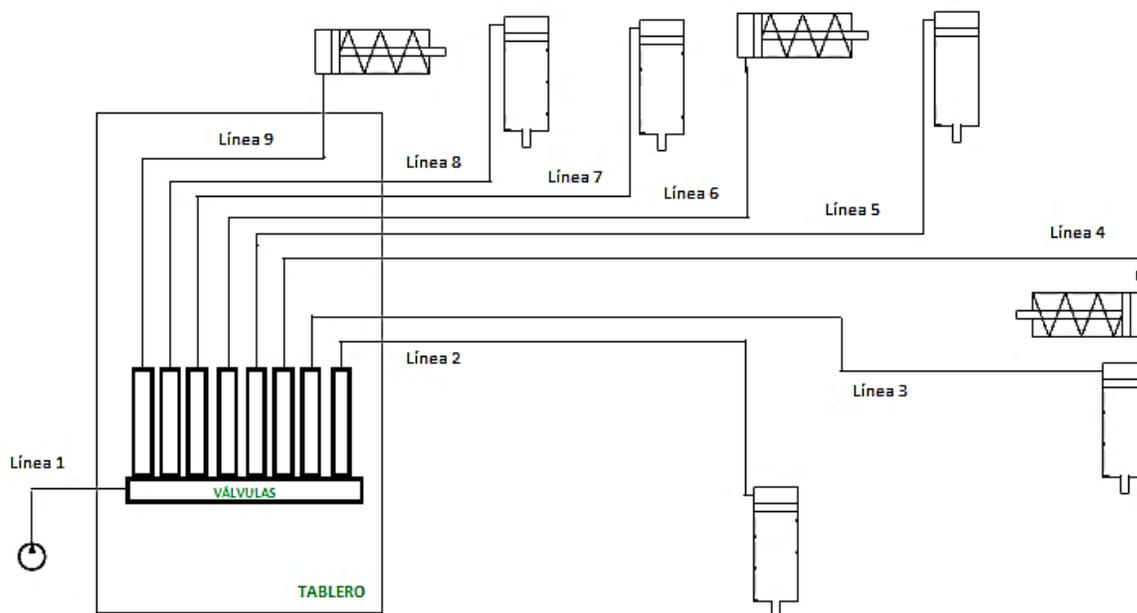


Figura 70. Longitud de tubería.

3.3.2.4. Cálculo de pérdidas de presión

Debido a la fricción del flujo en el interior de la tubería y a otras pérdidas y resistencias, siempre existirá una caída en la presión del aire saliente. Una fórmula muy común utilizada en ingeniería es:

$$\Delta P = \frac{(1.6)(10^3)(Q^{1.85})(L)}{(d^5)(P1)} \quad (3.25)$$

Donde

ΔP = Caída en la presión [Pa]

L = Longitud de la tubería [m]

Q = Volumen del aire libre [m³/s]

d = Diámetro interior del tubo [m]

P1 = Presión absoluta del aire a la entrada del tubo [Pa]

(Majumdar, 1997)

El consumo de aire se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$Q = 2. n. s. q \quad (3.26)$$

Dónde:

Q = Consumo de aire (l/min).

n = N° de ciclos por minuto.

s = Longitud de carrera (cm).

q = Consumo específico de aire.

El sistema está diseñado para cumplir un ciclo en aproximadamente un minuto, entonces el valor de n es 1.

Para calcular el consumo específico de aire, se utiliza un nomograma en el cual es necesario conocer el diámetro del embolo y la presión de funcionamiento (Véase figura 71).

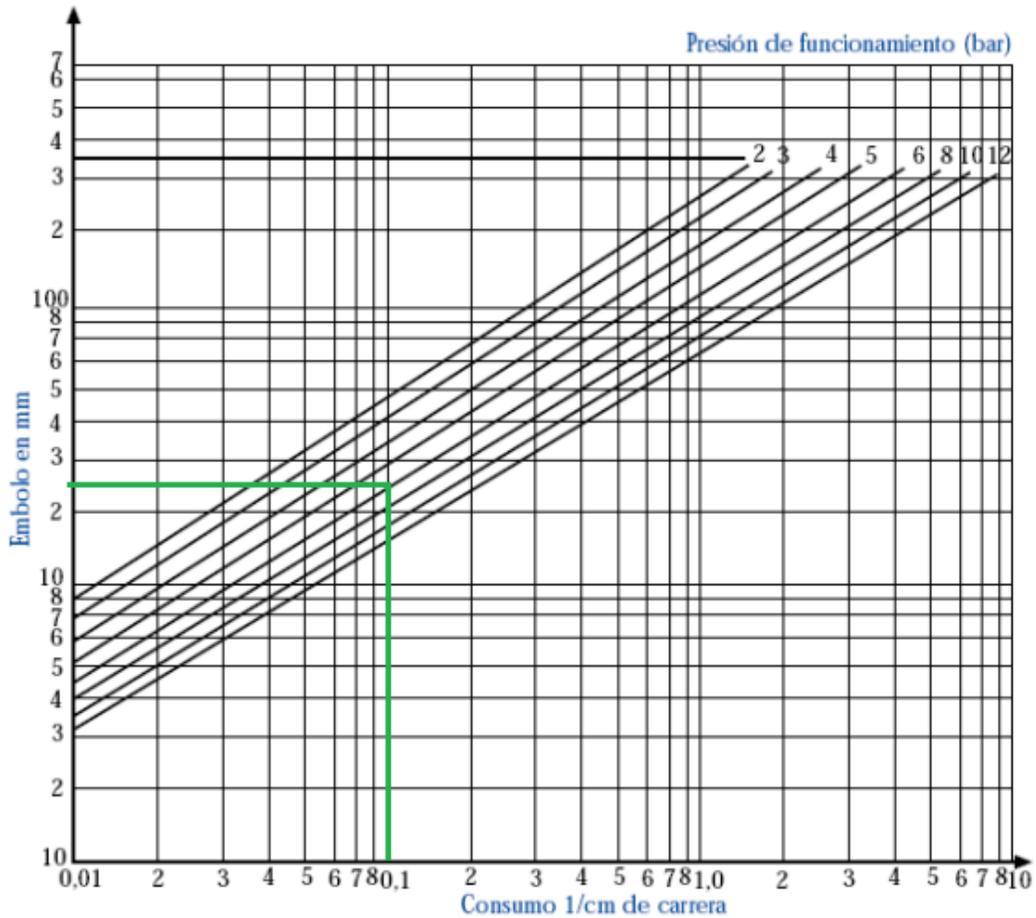


Figura 71. Nomograma para hallar consumo de aire en pistones (Fuente: <http://m.automatica.mex.tl>)

El valor obtenido para el consumo específico de aire en el pistón es de 0.1 lt/cm.

Finalmente remplazando en la fórmula, se tiene que:

$$Q = 2(1)(1.5)(0.1)$$

$$Q = 0.3 \text{ lt/min}$$

Por tanto, para los tres pistones y los cinco frenos que serán usados (asemejando el consumo de los frenos a pistones de simple efecto), se determina un consumo de aproximadamente 1.8 lt de aire máximo por minuto ya que solo es posible que funcionen simultáneamente seis elementos de estos (pueden estar activos todos los frenos a la vez, pero solo uno de los tres pistones debido a que el sistema funciona por prioridades).

Se ha hecho uso de tubería de poliuretano de 5 mm de diámetro, por tanto, este valor será el utilizado para el cálculo de pérdidas de presión.

La presión absoluta del aire a la entrada del tubo va a ser la presión manométrica sumada a la presión atmosférica. La fuente de aire suministra una presión de 6 bar, y sumando este valor a la presión atmosférica, ósea 1 bar, se obtiene una presión absoluta de 7 bar.

Finalmente se reemplaza en la fórmula:

$$\Delta P = \frac{(1.6)(10^3)((0.00003)^{1.85})(35)}{(0.005^5)(700000)}$$

$$\Delta P = \frac{0.000240}{0.00000219}$$

$$\Delta P = 109.88 \text{ Pa} = \mathbf{0.0011 \text{ bar}}$$

Como se observa la pérdida de presión es menor a la admisible (en instalaciones fijas no se puede sobrepasar 0.1 bar en caídas de presión):

$$0.0011 \text{ bar} < 0.1 \text{ bar}$$

De esta manera puede corroborarse también que el diámetro usado en la tubería es adecuado.

3.3.2.5. Diagrama de fuerza

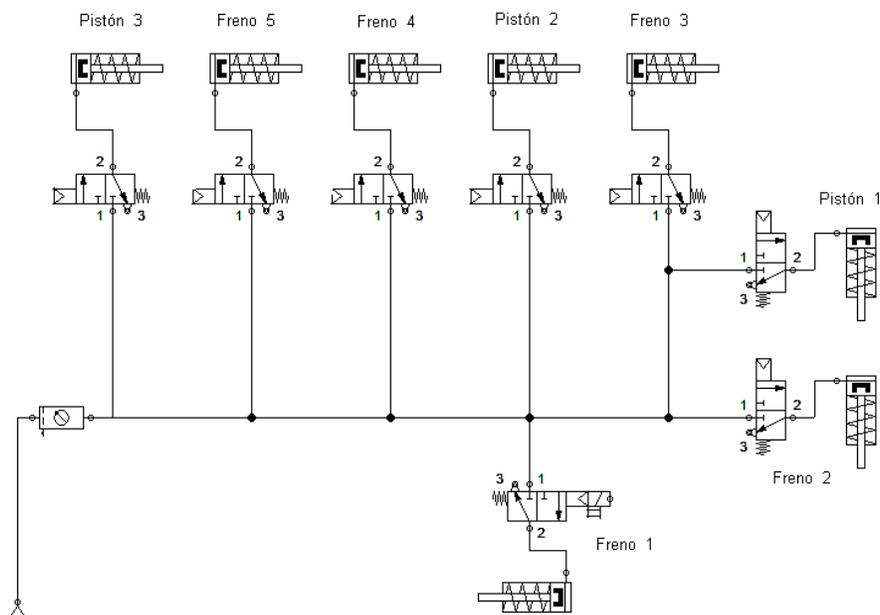


Figura 72. Diagrama de fuerza.

3.3.3. Diseño de eléctrico y electrónico

Los elementos que se describen a continuación no fueron previamente seleccionados y adquiridos por los autores del proyecto, puesto que, se hizo uso de los elementos disponibles en el laboratorio de control industrial. Cabe recalcar que, aunque se dispuso de estos, se evaluó su funcionalidad y características para que fueran adecuados para el desarrollo del proceso.

3.3.3.1. Dispositivos De Protección

Disyuntor



Figura 73. Disyuntor (Fuente: ABB, 2018)

El disyuntor utilizado en el aplicativo es de la marca Allen Bradley 140M-F8E, un disyuntor es un interruptor automático que corta el paso de corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones. Sirve para proteger a las personas y a los dispositivos electrónicos.

A diferencia de los fusibles, que son de un solo uso, un disyuntor o breaker electrónico se puede rearmar siempre que las causas que lo activaron se hayan resuelto. (ABB, 2018)

Características:

- Incluye indicación de disparo visible
- Ofrece opción de limitador de corriente alta
- Ofrece alta capacidad de conmutación
- Disponible en tamaños de estructuras C, D y F.

- Ofrece NEMA Tipo 3/4/12 opcional: cofre metálico IP66
- El 140M-D8V brinda protección contra sobrecarga en aplicaciones de múltiples motores

Características y tipos de disyuntores eléctricos:

- Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásico o trifásico.
- Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo.
- Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir.
- Poder de cierre: intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños.
- Los principales tipos de disyuntores son el térmico, el magnético, el magnetotérmico y el diferencial. (LED, 2018)

Se deben considerar características de corriente máxima y temperatura máxima, en este caso del variador de frecuencia que es el dispositivo conectado a continuación del disyuntor:

Tabla 14.
Compatibilidad Motor VDF

Parámetro	Requerimiento	Disyuntor Allen Bradley 140M-F8E
Corriente	17.5 A (Variador de Frecuencia)	de 6,3-45 A
Temperatura de Funcionamiento	de -40°C – 85°C (Variador de Frecuencia)	de -40°C – 80°C

(elementosprotección, 2017)

Fusibles

Para la elección de los fusibles se toma en cuenta la corriente máxima del variador de frecuencia, puesto que es el primer elemento de control que se debe proteger y el PLC que se conectará a una línea directa de 110 VAC. El PLC puede resistir una corriente de entrada de 2.5 A y el variador de Frecuencia una corriente de 21A. Por lo tanto, se puede elegir un fusible de menor a 2A. (Álvarez & Salazar, 2012)

Las necesidades de corriente de la aplicación:

PLC: 500 mA (máx.)

Variador De Frecuencia: dependiendo de la aplicación, en este caso: 4.65 A motor

Fuente de 24VDC: para la referencia de las salidas del PLC, 100mA

Relés: 100mA

De esta manera se puede colocar fusibles de mayor capacidad de 5A

Así el rango de fusibles que se debe elegir es:

$$2A \leq I_F \leq 5A$$

Para tomar en cuenta el cableado el cual para la parte del motor se coloca desde cable 14 ó 16 AWG en base a la corriente que soporta.

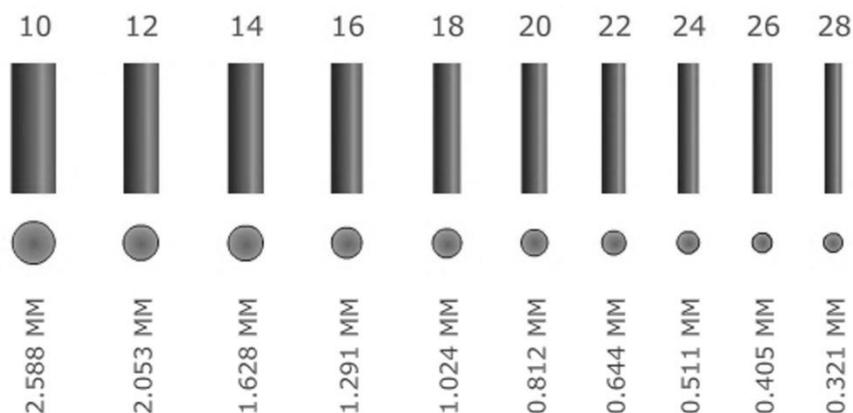


Figura 74. Diámetro de los diferentes tipos de cable AWG (Fuente: DELTA, 2018)

3.3.3.2. Sensores inductivos

Los sensores inductivos poseen la capacidad de detectar objetos metálicos sin tener contacto físico, mientras se mantengan dentro del rango establecido de sensado. (HUBOT, 2016)

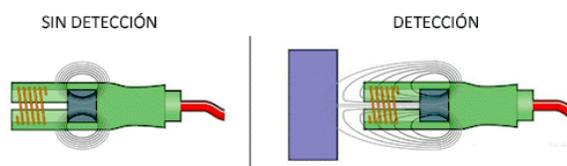


Figura 75. Funcionamiento de un sensor inductivo (Fuente: Hubot, 2016)

Funcionamiento

Este sensor está constituido por una bobina en la cual se induce un campo magnético cuando es energizado. Al detectar un objeto metálico se genera un campo magnético diferente a la dirección del campo inducido por la bobina, este fenómeno es mejor conocido como corrientes de Foucault. (Mecafenix, 2018)

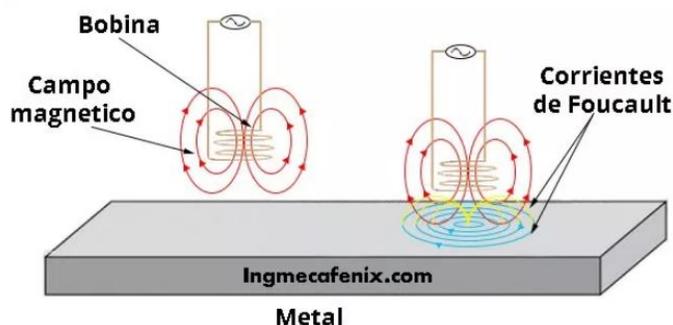


Figura 76. Ejemplo de campo magnético. (Fuentes: Mecafenix, 2018)

El sensor inductivo genera un campo magnético en forma de onda senoidal con amplitud constante. Cuando la bobina detecta un objeto metálico se genera una corriente de Foucault (Véase Figura 76), dependiendo la proximidad del objeto varia la amplitud de la onda senoidal, entre más cerca, menor es su amplitud. Cuando la onda disminuye hasta cierto punto el sensor conmuta su estado lo que indica que detecto un objeto metálico. (Mecafenix, 2018)

La banda transportadora posee sensores de tipo IF-2004-FRKG/PH, estos se han conectado para establecer una red multiplexada, conectando en paralelo cada sensor de cada estación con su homólogo. Por ejemplo, el primer sensor de la primera estación, también está conectado con el primero de la segunda y tercera estación y así sucesivamente hasta la quinta estación. Los sensores de detección en cambio, hacen la función de activadores, puesto que activan los sensores de cada estación si este excitado mediante la presencia de un pallet.



Figura 77. Sensor inductivo (Fuente: electronic, 2018)

Características

- Función de salida NA/NC programable
- Tensión de alimentación 10...50 VDC
- Técnica de dos hilos
- Frecuencia de conmutación muy alta
- Alto grado de protección para las exigencias de entornos industriales agresivos
- Amplio rango de tensión de alimentación
- Estado de conmutación, led amarillo
- Grado de protección IP67
- Factor de corrección acero: 1 / Acero inoxidable: 0,7 / latón: 0,4 / aluminio: 0,3 / cobre: 0,2
- Alimentación PNP/NPN. (electronic, 2018)

3.3.3.3. Variador de frecuencia

Es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad. (ABB, 2018)



Figura 78. Variador de Frecuencia Powerflex4 (Fuente: ABB, 2018)

- Clasificaciones de alimentación eléctrica
- De 100 a 120 V: De 0.2 a 1.1 kW / De 0.25 a 1.5 Hp / De 1.5 a 6 A

- IP20/NEMA/UL de tipo abierto, variador en placa, montaje en brida y riel DIN
- Kit de conversión de envoltente IP30 NEMA/UL tipo 1 opcional
- Se permiten temperaturas ambiente de hasta 50 °C (122 °F) con separación mínima entre los variadores.
- Variadores Zero Stacking™ para temperaturas ambiente de hasta 40 °C (104 °F)
- Control V/Hz, compensación de deslizamiento
- Comunicación RS-485 integral
- Módulo convertidor en serie opcional para utilizarse con cualquier controlador que admita mensajería DF1
- Módulos de comunicación ControlNet™, DeviceNet™, EtherNet/IP™, Profibus DP, BACnet™ y LonWorks® opcionales
- Protección contra sobrecarga del variador, regulación de rampa y arranque ligero
- Configuración y programación mediante teclado LCD integral o software
- Premier Integration con variadores de CA PowerFlex® usa la plataforma de control Logix para simplificar la programación de parámetros y tags y reduce el tiempo de desarrollo. (ABB, 2018)

Configuración VDF

Tabla 15.

Parámetros de configuración de un Variador De Frecuencia

Parámetro	Valor	Descripción
P031	208 VAC	Voltaje del motor que se observa en la placa
P032	60 Hz	Voltaje del motor que se observa en la placa
P033	4,6 A	Voltaje del motor que se observa en la placa
P034	0 Hz min	Frecuencia mínima para la variación
P035	60 Hz máx.	Frecuencia máxima para la variación
P036	1	Modo de operación, 3 Hilos.
P037	1	Apagado de inercia
P038	4	Frecuencia Preseleccionada
P039	0,1	Tiempo de aceleración
P040	10.0	Tiempo de desaceleración
P041	0	Se mantiene en estado inactivo el restablecimiento de los parámetros de fabrica
P043	1	Habilitar sobrecarga del motor
A051	4	Frecuencia preseleccionada
A052	4	Frecuencia preseleccionada
A070	0,1	Combinación 00 de las entradas digitales 5 y 6
A071	15	Combinación 01 de las entradas digitales 5 y 6
A072	30	Combinación 10 de las entradas digitales 5 y 6
A073	60	Combinación 11 de las entradas digitales 5 y 6

3.3.3.4. Motor

El motor que se ha utilizado en este proyecto es de la marca Baldor, con un acople reductor de velocidad al final de su eje. El motor posee las siguientes características físicas: (Sale, 2018)

- 3 fases
- 200 VAC Voltaje de operación
- 3 HP potencia
- 60 Hertz de frecuencia
- 3450 rpm velocidad *



Figura 79. Motor Trifásico utilizado en la banda transportadora (Fuente: Sale, 2018).

3.3.3.5. Fuente de alimentación

Se ha hecho uso de una fuente de alimentación AC/DC, para la alimentación de todo el sistema del tablero de control. Se usó esta fuente ya que estaba disponible en el laboratorio y poseía las características necesarias para alimentar el PLC AB 1100 con 110V y también voltaje de 24V para la alimentación del PLC AB1000 además de las alimentaciones de electroválvulas y lámparas.



Figura 80. Fuente de alimentación 110VAC /24VDC (Fuente: Amazon, 2018)

Características:

- Voltaje de entrada: 110V / 220V AC
- Volumen de salida: 24V DC
- Corriente de salida: 0 ~ 15A
- Protección: Protección de escasez; Protección de sobrecarga; Protección al sobre voltaje
- Peso: 660g
- Tamaño: 215 * 114 * 50 mm
- Conformidad de seguridad: FCC / CE

Conexión:

- L, N: entrada de alimentación de CA
- COM: salida de potencia DC "-"
- V: salida de potencia DC "+"
- + V / ADJ: ajusta la tensión de salida (10%).

(Amazon, 2018)

3.3.3.6. PLC AB Micrologix 1000

PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control. (LogicBus, 2018)

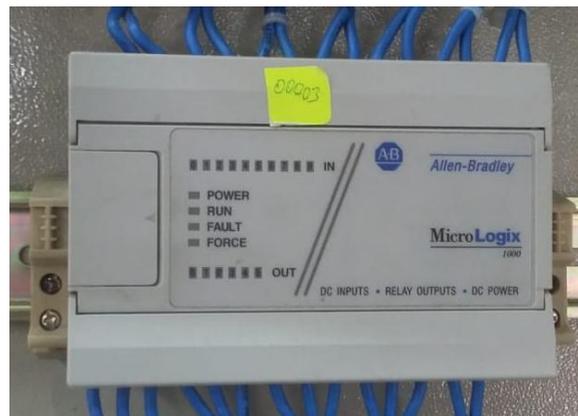


Figura 81. PLC Micrologix 1000.

Características:

- Alimentación 24 VDC

- Entradas digitales 10 de 120 VAC
- Entradas analógicas 2 entradas de voltaje 0...10 Vcc
- Salidas digitales 6 relé, todas individualmente aisladas
- Puerto de comunicación R232

3.3.3.7. PLC AB Micrologix 1100

Nuestros sistemas de controlador lógico programable MicroLogix™ 1100 Boletín 1763 añaden EtherNet/IP™ incorporada, edición en línea y un panel LCD a la familia MicroLogix. El panel LCD incorporado muestra el estado del controlador, el estado de E/S y mensajes del operador simples. Con dos entradas analógicas, 10 entradas digitales y seis salidas digitales, el controlador MicroLogix 1100 puede manipular una amplia variedad de tareas. (ABB, 2018)



Figura 82. PLC MicroLogix 1100.

Características:

- Alimentación 120-240 VAC
- Entradas digitales 10 de 120 VAC
- Entradas analógicas 2 entradas de voltaje 0...10 Vcc
- Salidas digitales 6 relé, todas individualmente aisladas
- Puerto de comunicación R232 / ethernet

3.3.4. Diseño de componentes del sistema de control

3.3.4.1. Control ON/OFF

En este tipo de control también denominado todo o nada, la acción es discontinua. En consecuencia, tienen lugar oscilaciones de la variable controlada en torno a la condición que se requiere. Esto se debe a retrasos en la respuesta del sistema de control y del proceso. En este control de dos posiciones, la salida es una señal de encendido o apagado. Sin importar la magnitud del error. (BOLTON, 2013)

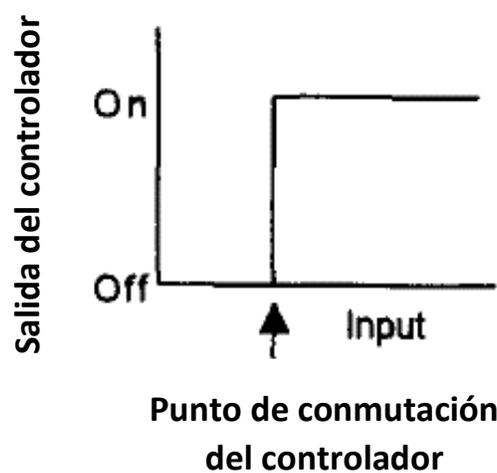


Figura 83. Diagrama controlador ON/OFF (Fuente: Bolton, 2014)

En el presente proyecto, los elementos encargados de realizar la acción de control on/off son los PLC's, para ello, se hizo uso de sensores inductivos que permitieron la detección de presencia de los pallets al llegar a las diferentes estaciones.

3.3.5. Diseño de la interfaz de humano-máquina

Se realizó una interfaz h-m basada en el proceso planteado acerca del envasado de líquidos. Esta interfaz fue diseñada en un software de diseño de interfaces, la misma que consta de un proceso que cumple con la guía GEDIS que es una guía de parámetros para el diseño de un HMI. La HMI se la estableció de la siguiente manera:

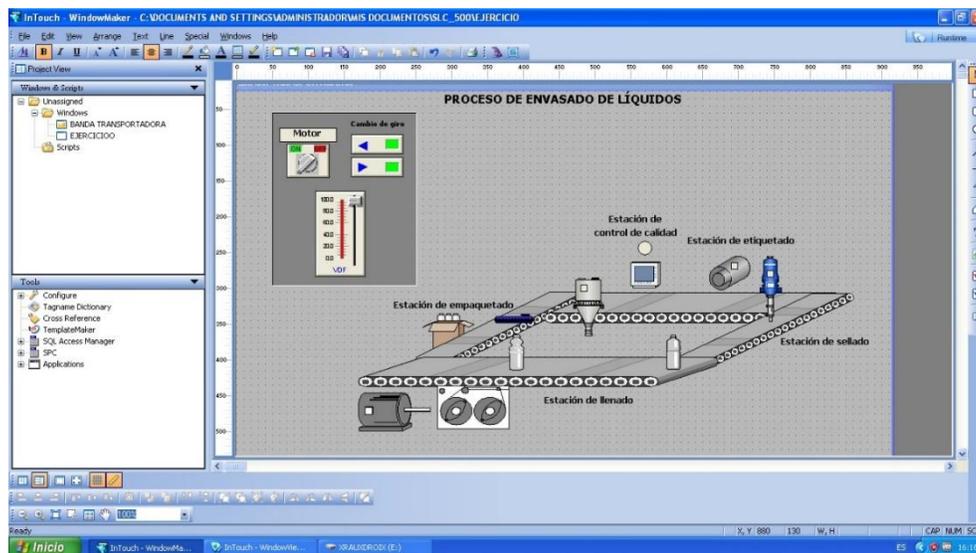


Figura 84. Diseño del HMI para el proceso de emulación de envasado de líquidos.

- **ESTACIÓN 1.** – en esta estación se emulará el llenado de líquido específico según sea el caso de A o B a través de una luz indicadora.

- **ESTACIÓN 2.** – en esta estación un pistón de simple efecto, colocado de manera vertical, emulará el sellado de las botellas.
- **ESTACIÓN 3.** - este módulo emulará la colocación de etiquetas de los productos de A o B por medio de un pistón simple efecto, posicionado de manera horizontal.
- **ESTACIÓN 4.** - aquí se emulará la detección de cantidad de líquido correcta, mediante una luz indicadora.
- **ESTACIÓN 5.** - un pistón de simple efecto emulará la clasificación y el empaquetado de los productos A o B dependiendo de su llegada al presente módulo.

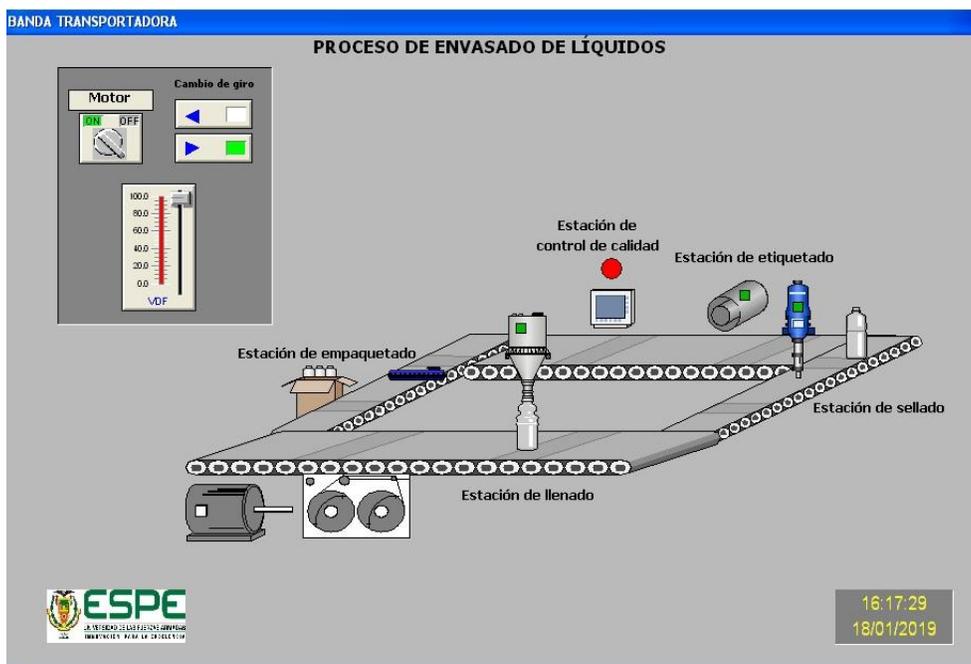


Figura 85. Simulación del proceso de envasado de líquidos.

3.4. Implementación

3.4.1. Implementación de los componentes mecánicos

Cada elemento diseñado fue elaborado en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el laboratorio de Procesos de Manufactura, en el cual se manufacturaron ejes, soportes, bases, acoples, y demás elementos necesarios para el desarrollo del presente proyecto.

3.4.1.1. Mecanismo de transmisión directa

En los planos anexados se pueden observar todos los elementos fabricados para el mecanismo de transmisión directa. Estos fueron manufacturados y ensamblados por los autores del presente proyecto como se muestra a continuación:



Figura 86. Cilindrado de ejes.



Figura 87. Desbaste interno, cuchilla de interiores.



Figura 88. Fabricación de chavetas.



Figura 89. Fresado para la adaptación de chaveteros.



Figura 90. Refrentado y cilindrado de ejes.

Para lograr la bidireccionalidad de la banda era necesario tener doble tracción, es decir ya no solo un eje, sino dos que transmitieran la potencia de giro del motor según la dirección que este tomara. Para esto fue necesario replicar los elementos que transmitían la potencia en una sola

dirección inicialmente en la banda. Se mecanizó un segundo eje en el cual estarían dispuestos un engranaje plástico y una catalina, al igual que en el primer eje de transmisión, la única diferencia de este segundo eje con el primero, es que el primero a más de estos elementos posee una segunda catalina que se conecta directamente con el motor, permitiendo así la transmisión de potencia.

En cuanto a la replicación de un segundo engrane de plástico (Véase figura 91) y varios soportes necesarios, fue necesario usar ingeniería inversa para su elaboración, pues se hizo uso de un escáner 3D (Véase figura 92) y posteriormente fue impreso en 3D con ABS como material (Véase figura 93), ya que este era el material con mejores propiedades disponible. Todo esto fue realizado en los laboratorios de Ciencia de Materiales e Instrumentación mecatrónica de la universidad.



Figura 91. Escaneado de bases originales banda transportadora.

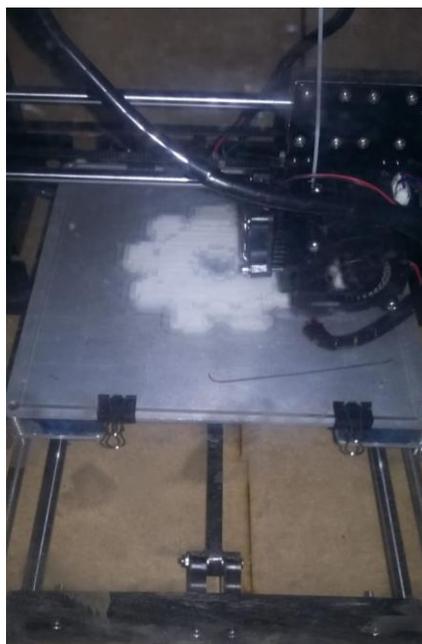


Figura 92. Impresión del engrane en ABS.

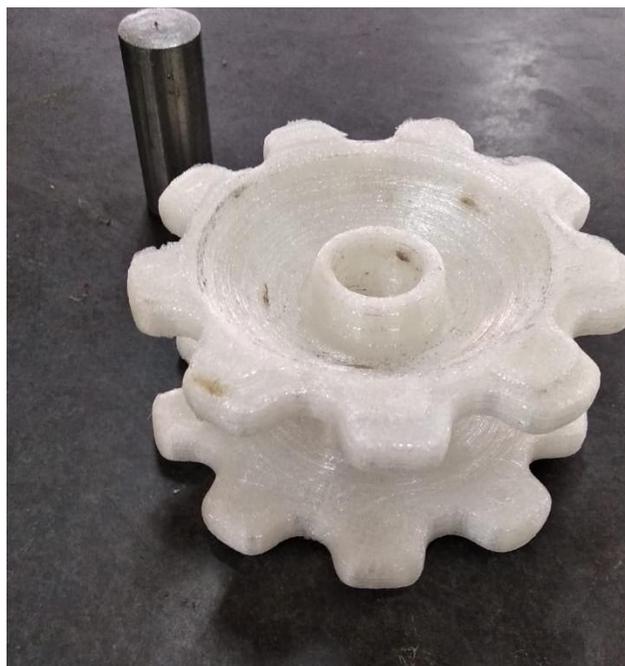


Figura 93. Resultado final de la impresión 3D.



Figura 94. Adaptación del engrane de plástico, eje y soporte para la banda transportadora.

Para la adaptación de los elementos que permitirían la doble tracción fue necesario una modificación en los acoples que inicialmente poseía la banda, así como el descarte de varios elementos que ya no serían útiles para el propósito del presente proyecto.



Figura 95. Fresado de los soportes de plástico, para adaptar acoples.



Figura 96. Adaptación acoples para rodamientos.

Varios de los materiales y elementos necesarios para la elaboración del mecanismo que lograría la bidireccionalidad de la banda y para la implementación de las estaciones de trabajo (catalinas, cadenas, rodamientos, prisioneros, pernos, etc.), son asequibles en el mercado, por lo que se consultaron catálogos para saber cuáles serían los más convenientes y si se encontraban disponibles.

Posterior al maquinado y adquisición de elementos, se procedió a ensamblar y montar el mecanismo. Todo esto se lo hizo con precisión y una correcta adaptabilidad, ya que, de ser mal montado o ensamblado, no se podría lograr las funcionalidades deseadas.



Figura 97. Implementación del mecanismo para lograr el movimiento bidireccional de la banda transportadora.

3.4.1.2. Estaciones de trabajo

Para la construcción de las estaciones de trabajo, se realizaron algunas implementaciones en los elementos como acoples de 5 a 6mm para las tuberías, rieles para montar y desmontar los pistones, bases para tres de las estaciones y luces indicadoras en cada una de las cinco estaciones.

- Estación de llenado

En esta estación se ejecuta el llenado de líquido de dos productos, se hace uso de una lámpara que indica al operador que se está emulando el respectivo proceso. Lo que diferencia el llenado del producto A y B son sus tiempos de emulación en la presente estación.



Figura 98. Estación de trabajo 1.

- **Estación de sellado**

En esta estación se implementó una base para la adaptación de un pistón simple efecto dispuesto de manera vertical para la emulación del sellado.

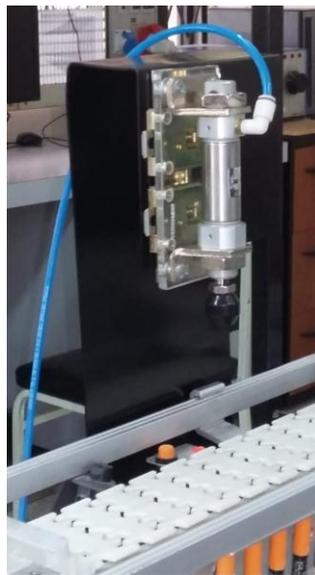


Figura 99. Estación de trabajo 2.

- **Estación de etiquetado**

Al llegar los pallets a esta estación se emula el proceso de etiquetado mediante el accionamiento de un pistón simple efecto dispuesto de manera vertical en la base fabricada como se muestra en la figura.

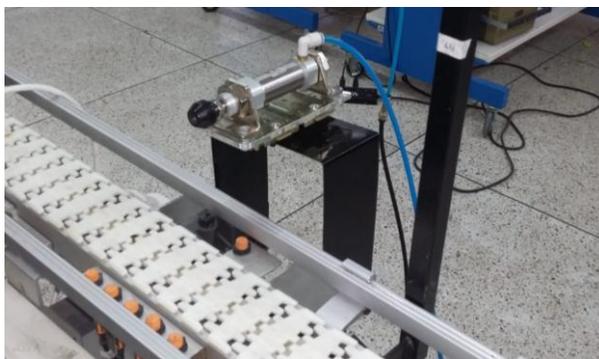


Figura 100. Estación de trabajo 3.

- **Estación de control de calidad**

Esta estación indicará la ejecución de su respectivo proceso mediante una luz indicadora previamente implementada. (Véase figura 101)



Figura 101. Estación de trabajo 4.

- **Estación de empaquetado**

En esta última estación se emula el respectivo proceso con el accionamiento de un pistón neumático simple efecto montado de manera horizontal en la base fabricada como se muestra en la Figura 102.



Figura 102. Estación de trabajo 5.

3.4.1.3. Mantenimiento

Se realizó un mantenimiento de los rieles y la cadena de la banda para extraer objetos sólidos que obstruyeran el libre desplazamiento de la cadena, a su vez se eliminaron las suciedades que por el tiempo se han aferrado a las paredes de la banda ya que esta no había tenido un mantenimiento anterior.

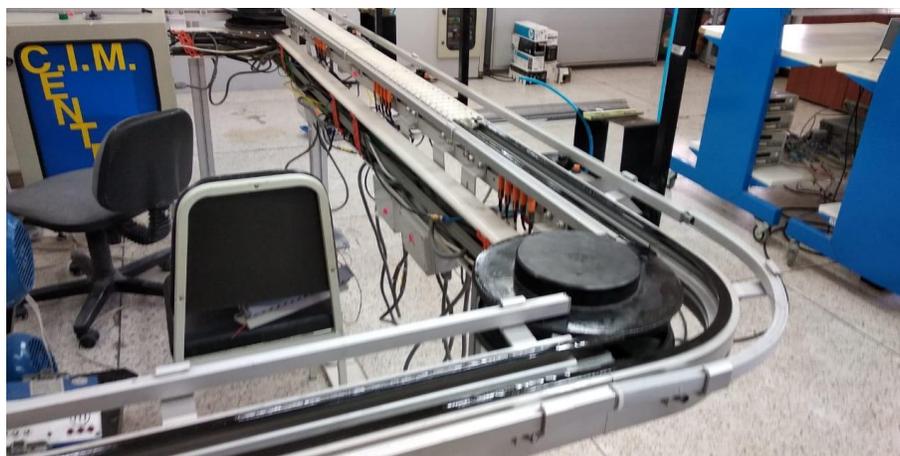


Figura 103. Mantenimiento de los rieles de la banda transportadora.

Inicialmente se procedió a retirar el eslabón que permite la apertura de la cadena, este se encuentra señalado con un indicador de color negro en la parte superior de los dientes de los eslabones de la banda. Esto se lo realizó para que, una vez abierta la cadena, se permita retirarla de los rieles.

Posterior a esto, se procede a retirar la banda manualmente, deslizándola en una dirección por toda la superficie hasta la mitad de la banda. Se limpia las paredes interiores del perfil de aluminio con un paño para remover impurezas, se retira los acoples de caucho del perfil por donde se desplaza la banda, y se limpia toda cavidad que por el tiempo ha estado con suciedad. Con una franela se coloca aceite por las rieles de aluminio para que la banda puede desplazarse fácilmente, además en las esquinas en donde se tiene el cambio de orientación de los palletes, se ha colocado grasa lubricadora. Se repite el proceso anterior para la otra mitad de la banda.

Finalmente, ya con los perfiles limpios y lubricados se procede a colocar la banda nuevamente en su lugar, se coloca el eslabón de seguridad que permite el cierre de la banda y se hacen varias pruebas para evidenciar su funcionalidad.



Figura 104. Banda transportadora con rieles después de aplicada el mantenimiento.

Cabe recalcar que, para un correcto desplazamiento de la banda, también es preciso tener en buenas condiciones el mecanismo que permitirá su bidireccionalidad.

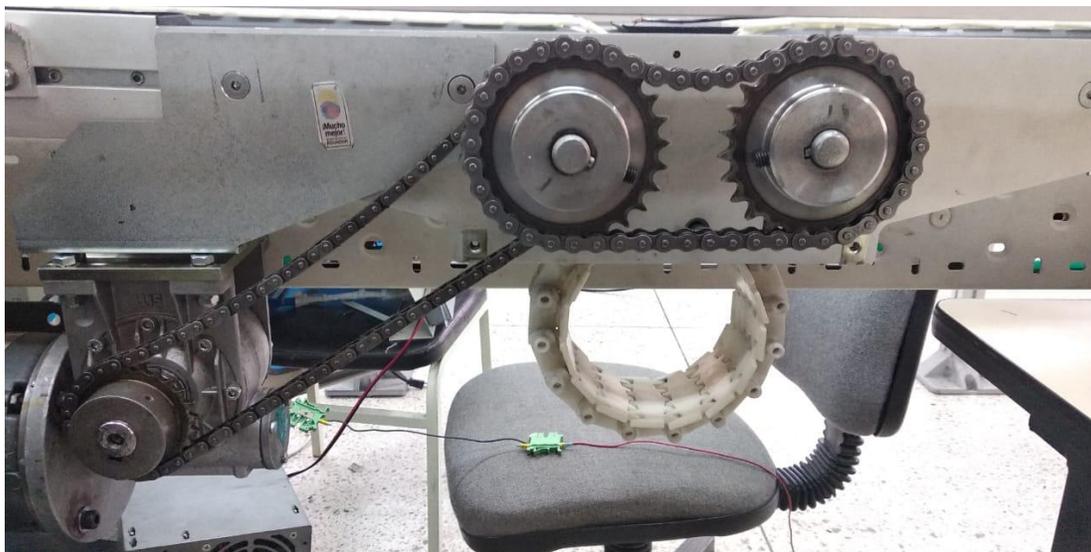


Figura 105. Mecanismo de cambio de giro.

3.4.2. Implementación de los componentes electrónicos

3.4.2.1. Tablero de control

Las conexiones eléctricas se las estableció según las nuevas necesidades del presente proyecto de titulación. Se hizo un nuevo diseño para el conexionado de los diferentes elementos eléctricos y electrónicos a ser usados. Como se describió en la sección anterior tanto la banda transportadora como su respectivo tablero de control se encontraban en desuso. Estos inicialmente constaban de un cableado interior que servía para el funcionamiento de estaciones de trabajo antes usadas en la banda transportadora. Estas estaciones dejaron de ser usadas, por lo que se quitó todo el cableado anterior y solo se hizo uso de los sensores inductivos de cada estación, balizas,

electroválvulas, y las borneras propias del tablero. Partiendo de cada estación de trabajo, se tomó cada uno de sus sensores para conectarlos en el tablero y tomar la señal eléctrica que envía cada uno de estos para dirigirlas y controlarlas desde un PLC. Varias de las señales eléctricas de los sensores fueron multiplexadas junto con las electroválvulas que se encargan de activar los pistones y las balizas de las diferentes estaciones, mientras que otras señales eléctricas como las de los sensores de presencia y electroválvulas de los frenos, se las conectaron de manera independiente por la forma a ser controladas.



Figura 106. Tablero de control antes de ser reconectado.



Figura 107. Reconexión de borneras.

Para la realización del nuevo reconexionado fue preciso probar los componentes electrónicos que iban a ser usados para comprobar que trabajaban de manera correcta. Se probaron sensores y electroválvulas por separado y más tarde, después de haber dispuesto el cableado según lo planeado se volvió comprobar continuidades y el funcionamiento en conjunto de todos estos elementos.



Figura 108. Placas controladoras pertenecientes a cada una de las estaciones.

Se hicieron pruebas finales de los elementos, empezando por probar cada estación independientemente y por último una prueba en conjunto de todas las estaciones. De esta manera se corroboró que la parte eléctrica y electrónica estaba lista para ser usada.

Es preciso mencionar que para lograr poner en funcionamiento los actuadores como pitones y frenos neumáticos se tuvo que evaluar el sistema neumático de la banda. La antigua conexión neumática estaba obsoleta por lo que se realizó una nueva red de alimentación. Se cambiaron tuberías para los frenos y pistones adecuándolas con nuevos acoples que permitieran la conexión entre la fuente neumática de alimentación, electroválvulas, frenos y pistones.



Figura 109. Acoples nuevos para la tubería neumática.

Finalmente se agregó la línea de alimentación de 110 VAC para la alimentación de uno de los PLC y la alimentación del transformador de 110VAC – 24 VDC, este permitió alimentar sensores, electroválvulas, y balizas. El tablero de control posee una luz indicadora en su parte superior que mostrará al operador si el tablero está activo.



Figura 110. Tablero implementado.

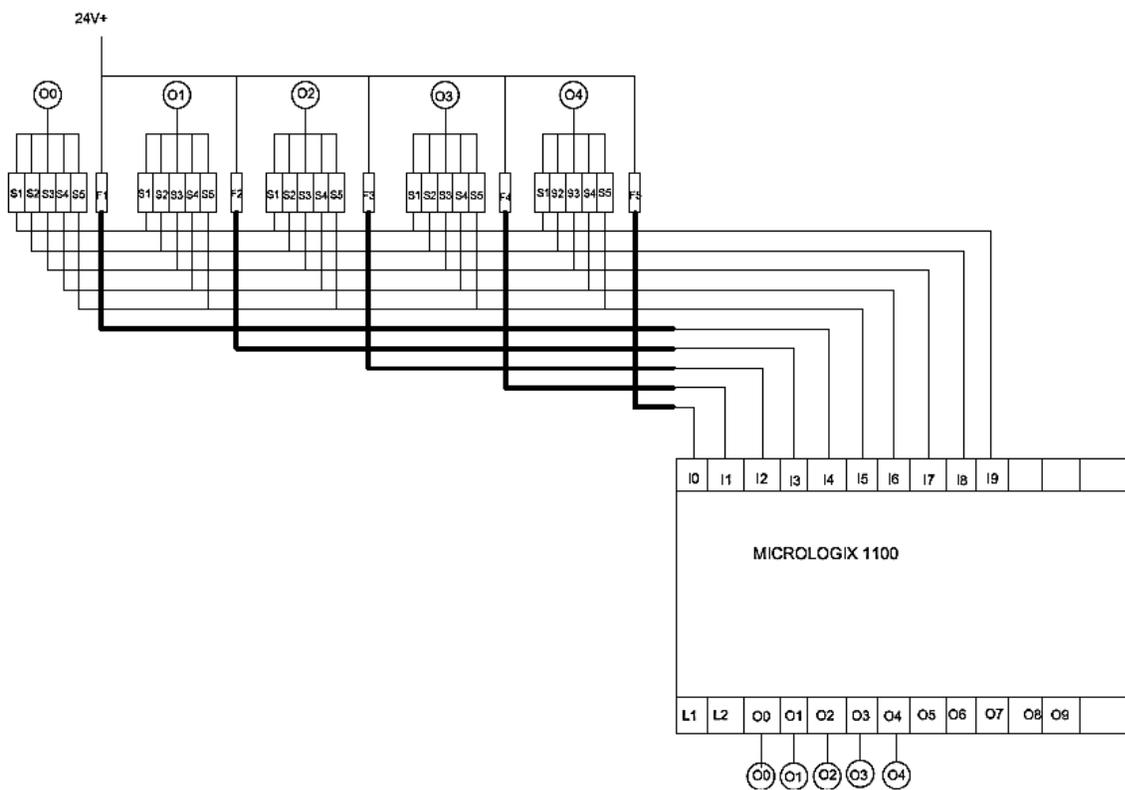


Figura 111. Esquema de multiplexación de los sensores inductivos.

3.4.3. Implementación del sistema de control

Para el control del proceso, se utilizó dos controladores lógicos programables, los mismos que realizaron la acción de control todo o nada, usando para ello sensores inductivos que permitieron la detección de la llegada de un pallet.



Figura 112. Sensor inductivo para la detección de presencia (Fuente: *electronic*, 2018)

3.4.4. Programación e implementación del proceso industrial demostrativo

Para proceder con la automatización del sistema, una vez seleccionado el dispositivo de automatización, el siguiente paso fue considerar algunos parámetros extra para la realización de dicho proceso, los mismos que se analizan a continuación:

3.4.4.1. Diagrama de flujo

El diagrama siguiente describe el proceso de envasado de los productos A y B (Véase figura 113). Este inicia con la lectura de la señal que envían los sensores de presencia dispuestos en cada una de las estaciones. Cuando este ha detectado la llegada de un pallet, permite la activación de los otros cinco sensores implementados en cada estación, estos son los encargados de discriminar el tipo de producto que ha llegado (A o B) para ejecutar la acción respectiva. En el caso de ser el pallet perteneciente al producto A, cada estación realizará su respectivo proceso en tiempos ya

programados, si el pallet pertenece a un producto B se realizarán acciones similares en cada estación pero con tiempos diferentes. En sí, lo único que diferencia los procesos de A y B son los tiempos de procesado programados en cada una de las estaciones. Al finalizar el proceso total de envasado ya sea del producto A o B, este se podrá repetir las veces que el operador así lo requiera o simplemente, al finalizar un ciclo cualquiera, el operador podrá finalizar el proceso total si así lo requiere.

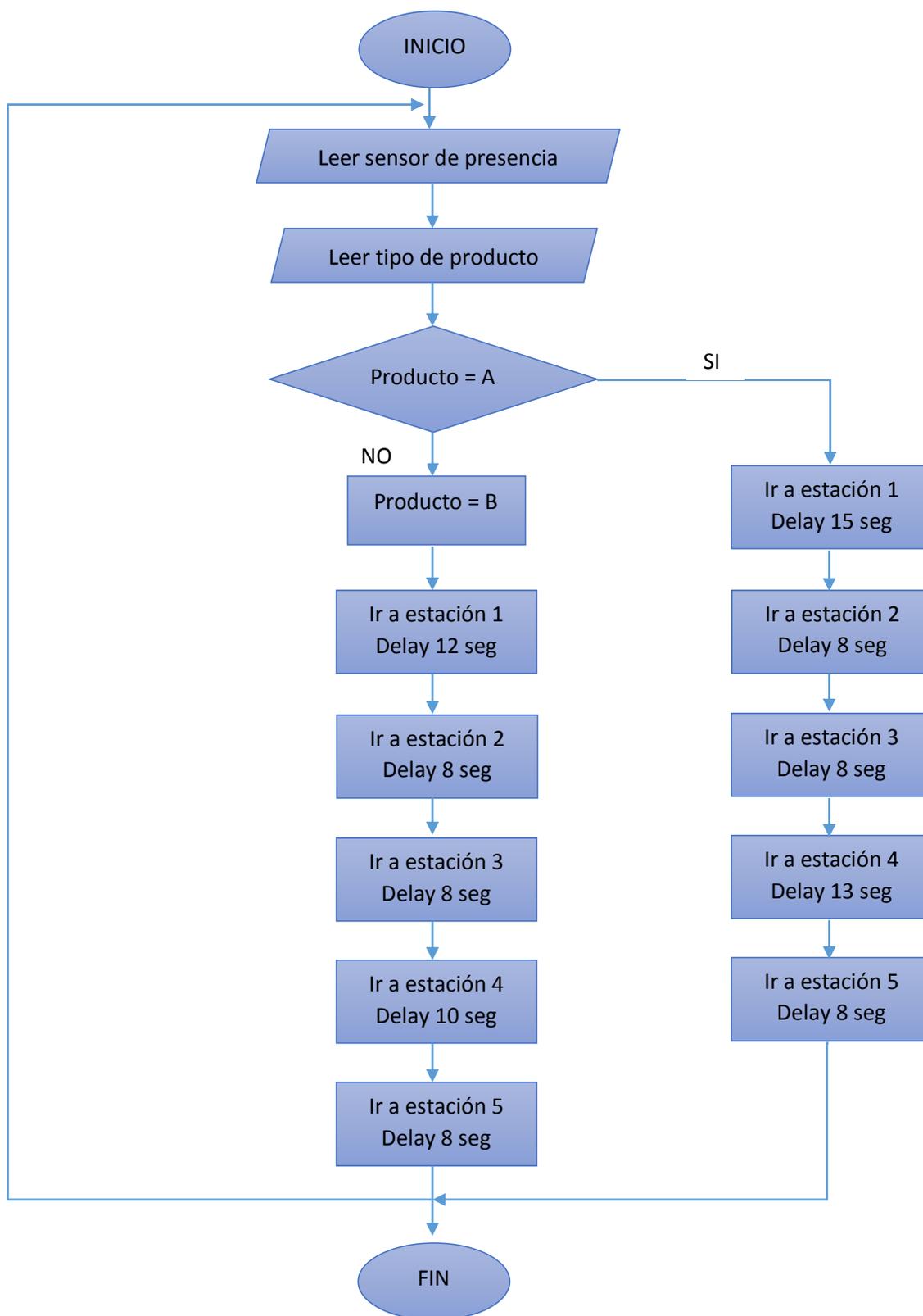


Figura 113. Diagrama de flujo del proceso de envasado de dos líquidos A y B.

3.4.4.2. Programación

Una vez analizado el diagrama de flujo y entendido el propósito del sistema, se procede a la programación; para esto hay que tener en cuenta las variables a ser usadas y el lenguaje de programación. A continuación, se analizará cada uno de estos aspectos:

Definición de variables

Se han definido las variables según los recursos proporcionados por los dos PLCs. En el PLC principal (AB 1100) se han utilizado todas sus entradas y salidas físicas y varias entradas virtuales, así como temporizadores para programar tiempos de espera en cada una de las estaciones, y bits de memoria necesarios para gestionar la programación para el proceso establecido. En cuanto al PLC secundario (AB 1000), se usaron cuatro de sus salidas físicas y cuatro bits de memoria utilizados como activadores virtuales.

Tabla 16.
Tabla de variables PLC AB Micrologix 1100

Descripción	Símbolo	Dirección	Tipo
Sensores 1 de detección de pallets	SENSOR1	I:0/0	Entrada
Sensores 2 de detección de pallets	SENSOR2	I:0/1	Entrada
Sensores 3 de detección de pallets	SENSOR3	I:0/2	Entrada
Sensores 4 de detección de pallets	SENSOR4	I:0/3	Entrada
Sensores 5 de detección de pallets	SENSOR5	I:0/4	Entrada
Sensor detector estación 1	DETECTOR1	I:0/5	Entrada

CONTINÚA

Sensor detector estación 2	DETECTOR2	I:0/6	Entrada
Sensor detector estación 3	DETECTOR3	I:0/7	Entrada
Sensor detector estación 4	DETECTOR4	I:0/8	Entrada
Sensor detector estación 5	DETECTOR5	I:0/9	Entrada
Botón de encendido remoto	ON	I:0/10	Entrada
Botón de apagado remoto	OFF	I:0/11	Entrada
Señal de control estación 1	SENSORES1	O:0/0	Salida
Señal de control estación 2	SENSORES2	O:0/1	Salida
Señal de control estación 3	SENSORES3	O:0/2	Salida
Señal de control estación 4	SENSORES4	O:0/3	Salida
Señal de control estación 5	SENSORES5	O:0/4	Salida
Activador freno 1	FRENO1	O:0/5	Salida
Encendido virtual	OFFV	B3:0/0	Bit de memoria
Apagado virtual	ONV	B3:0/1	Bit de memoria
Indicador producto A	PRODUCTOA	B3:0/2	Bit de memoria
Indicador producto B	PRODUCTOB	B3:0/3	Bit de memoria
Activador freno 2 auxiliar	FR2AUX	B10:0/0	Bit de memoria
Activador freno 3 auxiliar	FR3AUX	B11:0/0	Bit de memoria
Activador freno 4 auxiliar	FR4AUX	B12:0/0	Bit de memoria
Activador freno 5 auxiliar	FR5AUX	B9:0/0	Bit de memoria
Temporizador estación 1 producto A	ESTACION1A	T4:0	Temporizador
Temporizador estación 2 producto A	ESTACION2A	T4:1	Temporizador

CONTINÚA

Temporizador estación producto A	3	ESTACION3A	T4:2	Temporizador
Temporizador estación producto A	4	ESTACION4A	T4:4	Temporizador
Temporizador estación producto A	5	ESTACION5A	T4:5	Temporizador
Temporizador estación producto B	1	ESTACION1B	T4:3	Temporizador
Temporizador estación producto B	2	ESTACION2B	T4:6	Temporizador
Temporizador estación producto B	3	ESTACION3B	T4:10	Temporizador
Temporizador estación producto B	4	ESTACION4B	T4:7	Temporizador
Temporizador estación producto B	5	ESTACION5B	T4:8	Temporizador

Tabla 17.
Tabla de variables PLC AB Micrologix 1000

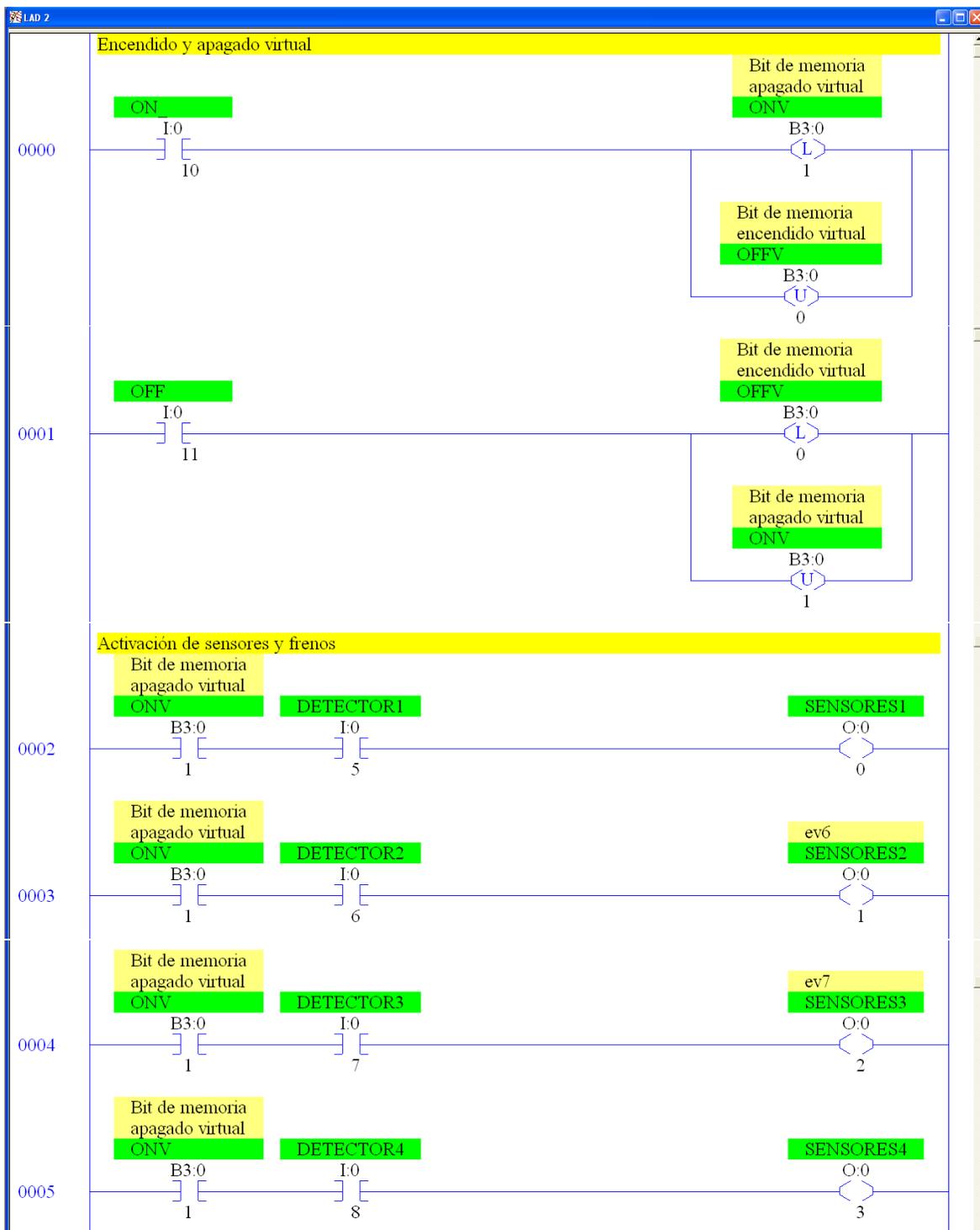
Descripción	Símbolo	Dirección	Tipo
Activador freno 2 auxiliar	FR2AUX	B3:0/0	Bit de memoria
Activador freno 3 auxiliar	FR3AUX	B3:0/1	Bit de memoria
Activador freno 4 auxiliar	FR4AUX	B3:0/2	Bit de memoria
Activador freno 5 auxiliar	FR5AUX	B3:0/3	Bit de memoria
Activador freno 2	FRENO2	O:0/0	Salida
Activador freno 3	FRENO3	O:0/1	Salida
Activador freno 4	FRENO4	O:0/2	Salida
Activador freno 5	FRENO5	O:0/3	Salida

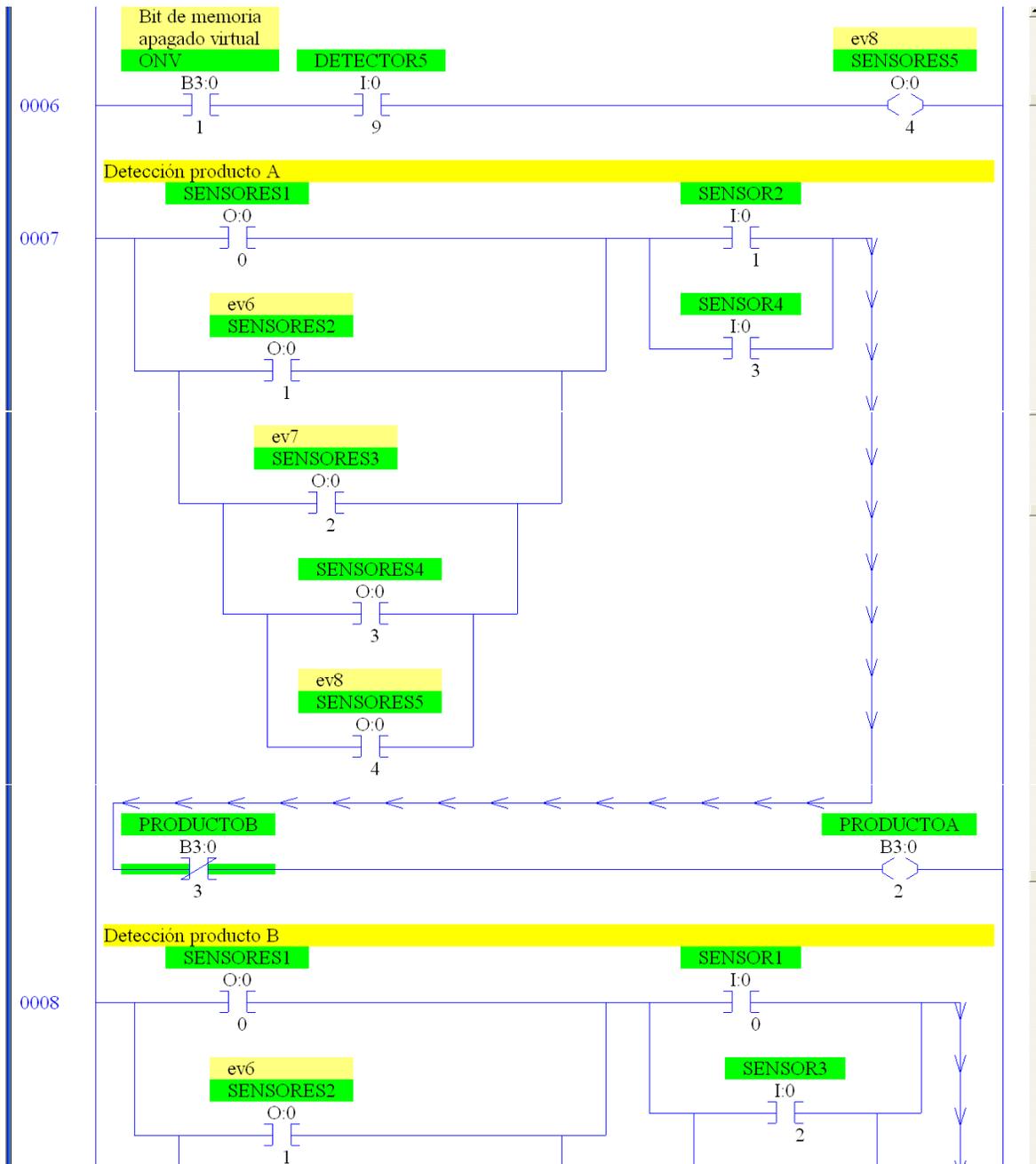
Programación en ladder

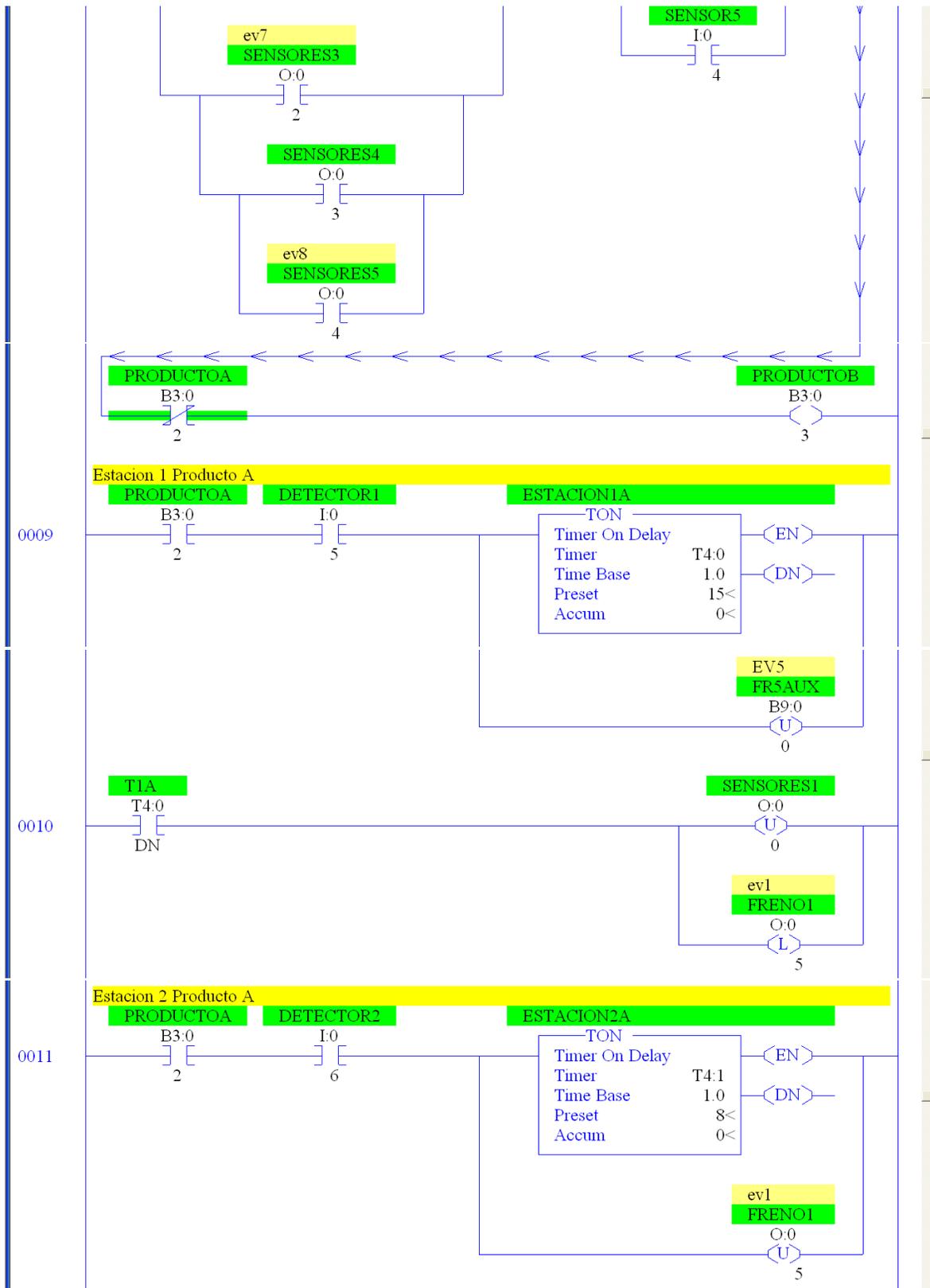
Para realizar la programación se empezó por analizar los requerimientos del proceso de envasado de líquidos establecido. Se hizo uso de encendidos y apagados virtuales ya que no se disponía de botones físicos para este tipo de control, estos permitían la activación total del proceso. Se usó los sensores de detección como habilitadores de los otros cinco sensores dispuestos en cada estación, estos cinco sensores a su vez son los encargados de detectar el tipo de pallet (producto A o B) según su respectivo código. Al llegar el pallet a cada estación, lo detiene un freno neumático, cada estación tiene programado un tiempo de ejecución independiente, termina el tiempo establecido en cada estación, el freno neumático se desplaza permitiendo el paso del pallet y este prosigue a la estación siguiente. En las estaciones de llenado y control de calidad son luces indicadoras las encargadas de mostrar que se está realizando el respectivo proceso. En cuanto a las estaciones de sellado, etiquetado y empaquetado los encargados de emular el respectivo proceso son pistones de simple efecto.

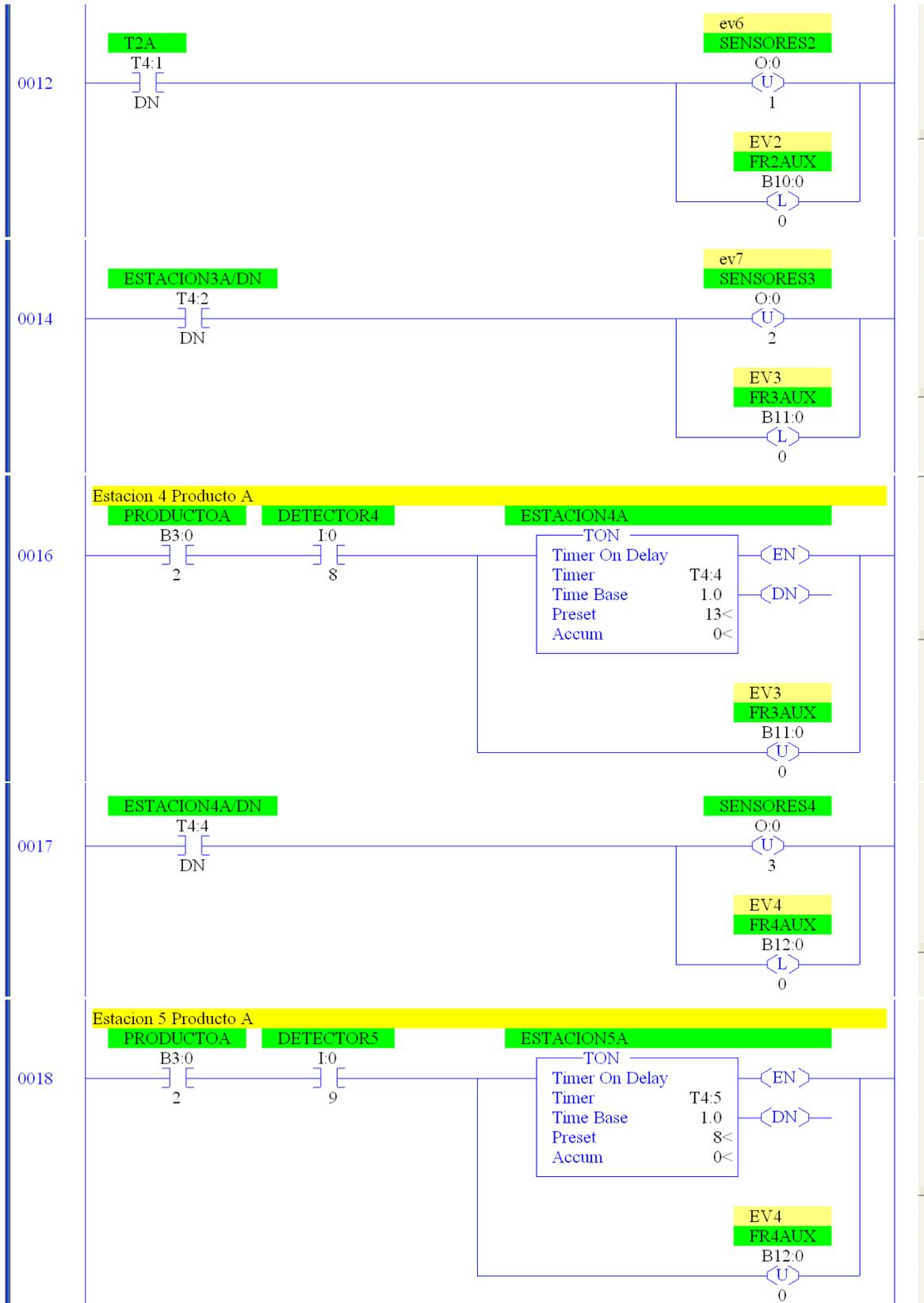
Tanto sensores, como luces indicadoras y pistones fueron multiplexados como se describió anteriormente por los recursos que se tuvo disponibles, en cuanto a las electroválvulas encargadas de la activación de frenos neumáticos, se usaron salidas físicas independientes.

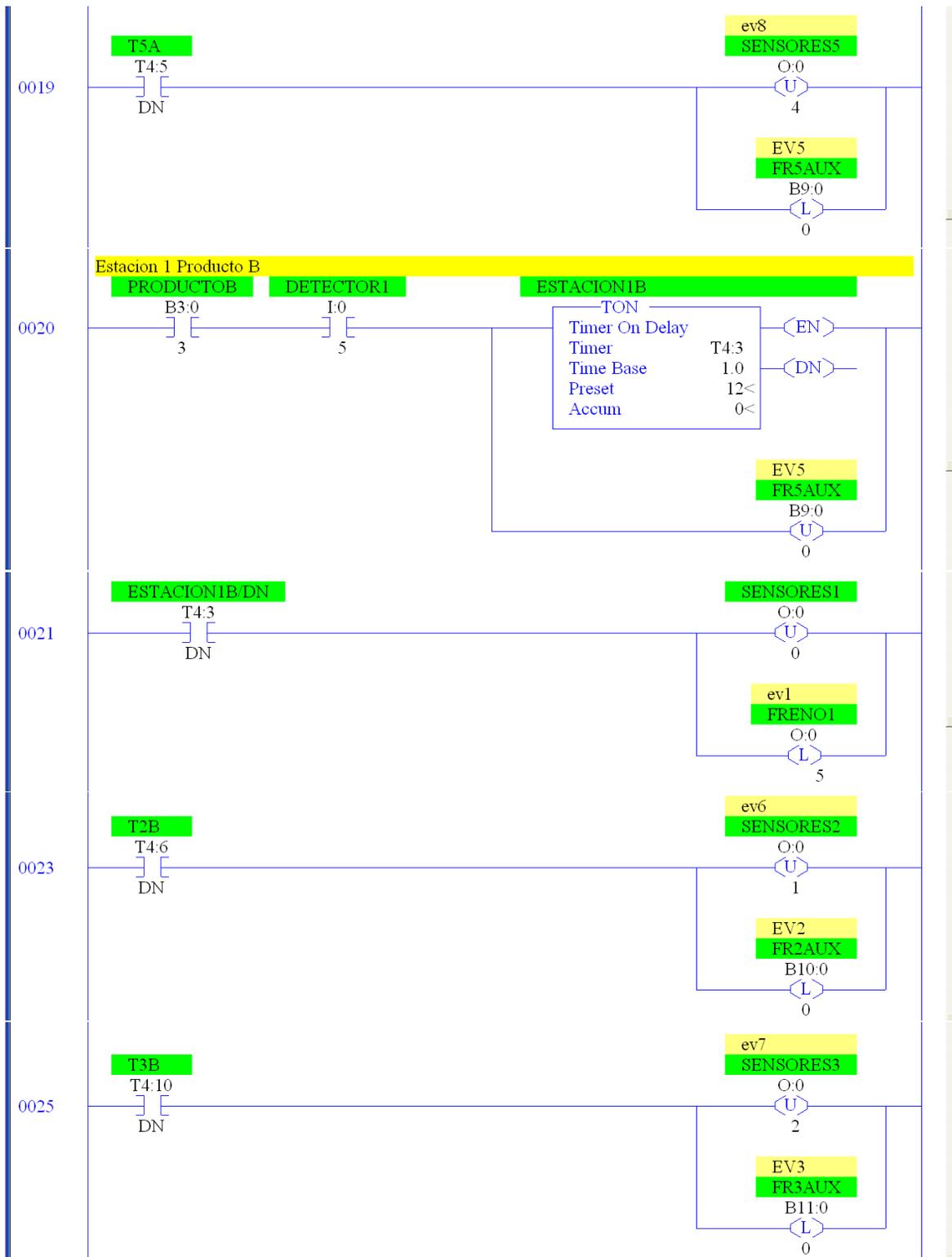
Programación PLC principal (Micrologix 1100)

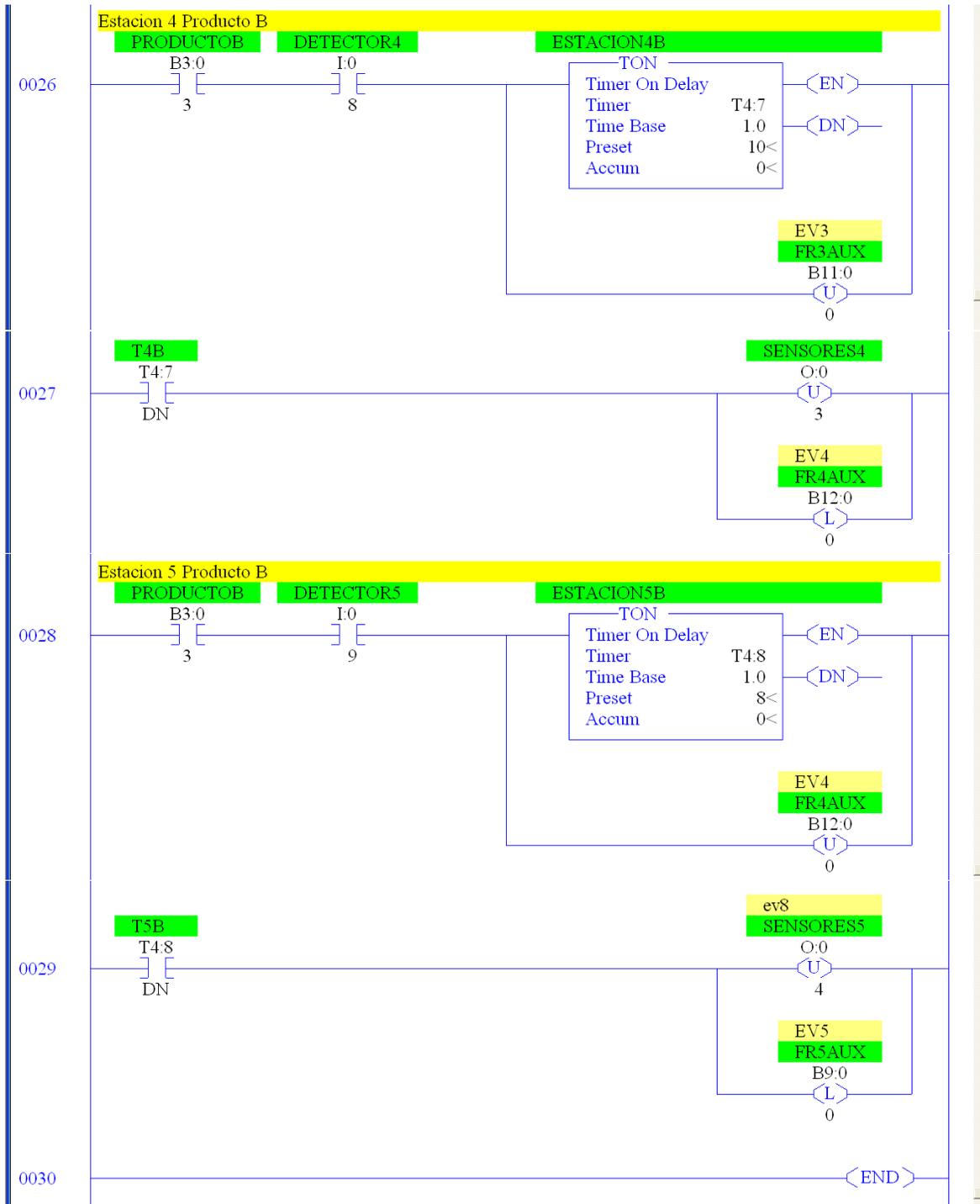




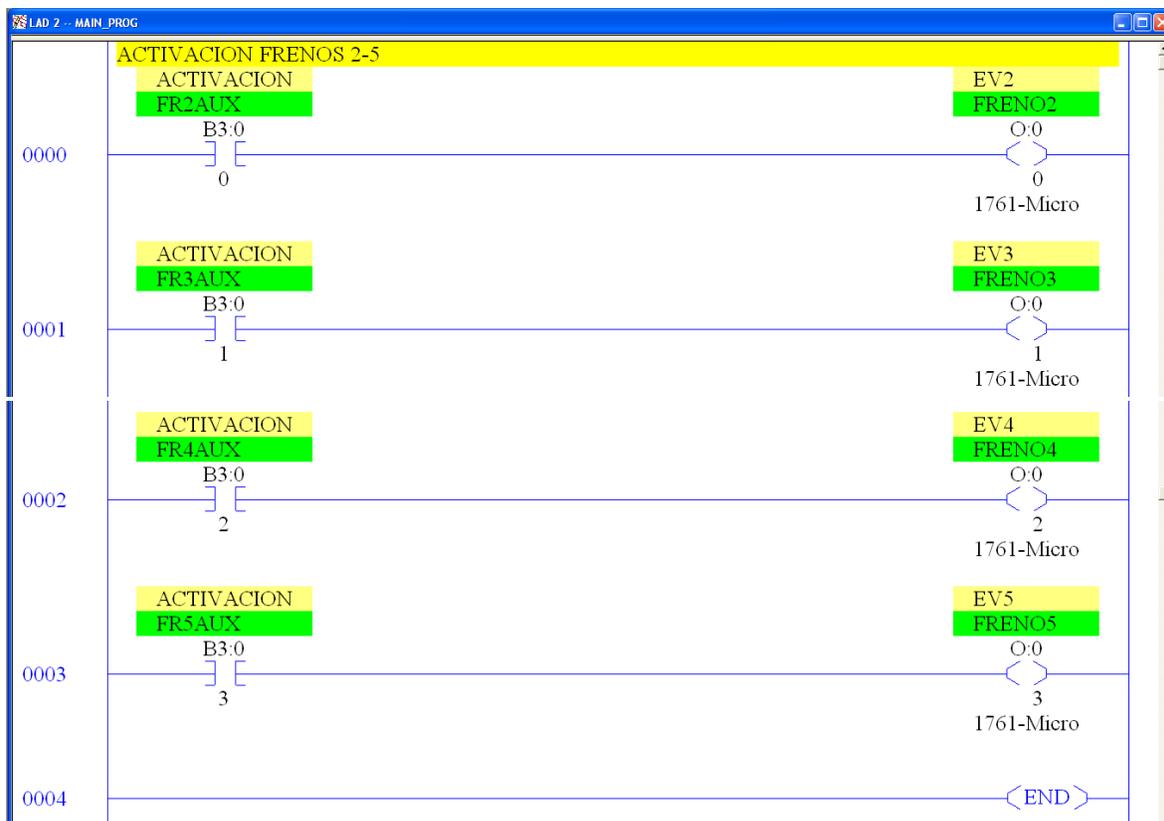








Programación PLC secundario (Micrologix 1000)



Cabe recalcar que se hizo uso de un segundo PLC (AB Micrologix 1000) para usarlo como un módulo de salidas del primero (AB Micrologix 1100) ya que se requería más salidas de las que el primer PLC poseía. Se hizo uso de un estándar de comunicación OPC para el enlazamiento entre PLCs como se muestra a continuación:

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
FR2AUX	B10:0/0	Boolean	100	None	
FR3AUX	B11:0/0	Boolean	100	None	
FR4AUX	B12:0/0	Boolean	100	None	
FR5AUX	B9:0/0	Boolean	100	None	

Figura 114. Creación de variables auxiliares del PLC 1100 en KepServer para la comunicación con el PLC 1000.

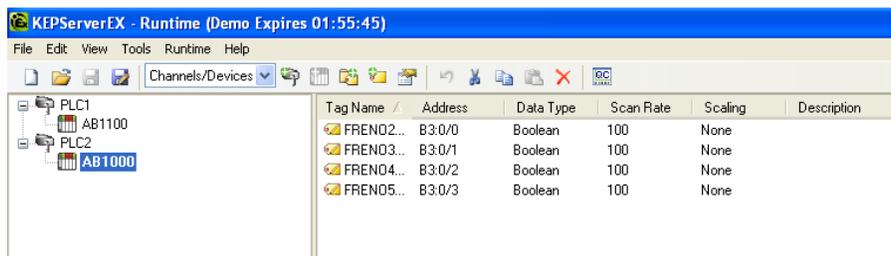


Figura 115. Creación de variables auxiliares del PLC 1100 en KepServer para la comunicación con el PLC 1000.

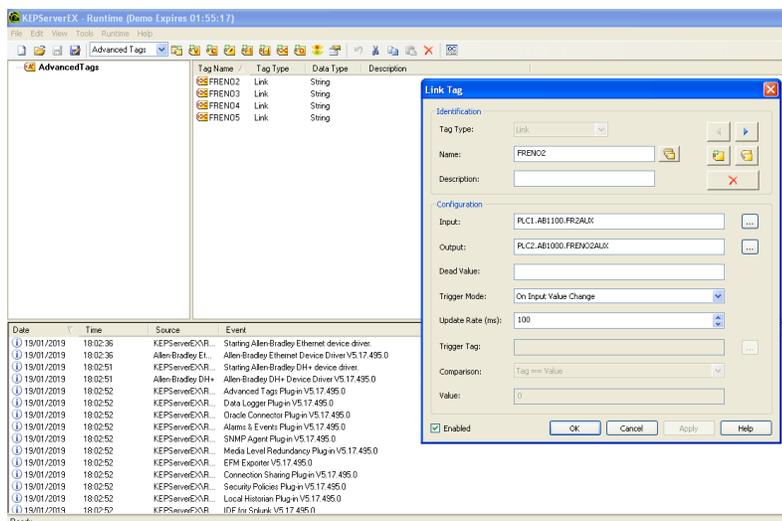


Figura 116. Creación de Tags Avanzadas para enlazar las variables auxiliares de los PLC 1 y 2 a través de protocolo OPC.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Desarrollo del protocolo de pruebas

Para verificar el correcto funcionamiento de la banda transportadora, y tener el conocimiento de que está funcionando, se desarrolla un protocolo de prueba en el cual, se podrá saber si el proyecto, cubre todas las necesidades planteadas de manera óptima.

Dentro del protocolo de pruebas se ha establecido 3 áreas de importancia, las cuales van a permitir observar el desempeño de la banda transportadora, partiendo desde cada uno de sus componentes.

4.1.1. Prueba mecánica

Para este tipo de pruebas mecánicas, se ha planteado de la siguiente manera el protocolo:

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Inspección de la tensión de la de la cadena de la catalina motriz al motor
- 4) Inspección de la tensión de la cadena que conecta las catalina que transmite el movimiento al doble eje. Evitando que exista pandeo en la cadena.
- 5) Observar que el motor este correctamente acoplado a los soportes de la banda, por medio de sus tornillos y arandelas de presión.

Tipo de prueba.- Visual.

Formato de Registro: ANEXO 4.1

4.1.2. Prueba electrónica

Para este tipo de prueba, se ha planteado el protocolo de la siguiente manera:

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Cable trifásico de la banda transportadora, conectado al tomacorriente trifásico.
- 4) Encendido del breaker N°7. Del tablero de alimentación del Laboratorio de Control Industrial.
- 5) Verificar los componentes de protección (fusibles).
- 6) Conectar alimentación 110VAC al tablero de la banda industrial.
- 7) Verificar posición de encendido del disyuntor.
- 8) Energizar tablero de control, verificar funcionamiento mediante la luz (Verde) de encendido.

Tipo de prueba.- Observación y verificación.

Formato de Registro: ANEXO 4.2.1

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Verificar los componentes de protección (fusibles)
- 4) Conectar micrologix1000 a la alimentación de 24VDC.
- 5) Conectar micrologix1100 a la alimentación de 110VAC.
- 6) Verificar que los PLC estén correctamente conectados, mediante la luz encendida del PLC.
- 7) Verificar que las salidas del PLC estén conectadas a su respectivo COM.
- 8) Las entradas y salidas bien cableadas con cable AWG 16.
- 9) Verificar comunicación entre PLC y Computador (Se recomienda tener máquina virtual con Windows xp, para una mejor comunicación y evitar problemas).
- 10) Para el PLC Micrologix 1000, debe utilizar para la comunicación RS232, y para el PLC Micrologix EtherNet.

Tipo de prueba.- Observación y verificación.

Formato de Registro: ANEXO 4.2.2

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Verificar los componentes de protección (fusibles).
- 4) Verificar el cableado de los sensores que debe estar multiplexados.
- 5) Conectar fuente de alimentación para los sensores con un voltaje de 24VDC.
- 6) Verificar el funcionamiento de cada sensor, con un metal, que al acercarse se enciende los led de color anaranjado se significa la que funciona correctamente.
- 7) Para la intercomunicación de cada estación, se debe asegurar que los conectores tipo DB25, estén correctamente posicionados y conectados a sus borneras.

Tipo de prueba.- Aplicación y verificación.

Formato de Registro: ANEXO 4.2.3

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Verificar los componentes de protección (fusibles).
- 4) Cable trifásico de la banda transportadora, conectado al tomacorriente trifásico.
- 5) Encendido del breaker N°7. Del tablero de alimentación del Laboratorio de Control Industrial.
- 6) Conmutar el disyuntor, para que permita el paso de energía hacia el variador de frecuencia.
- 7) Ingresar los parámetros de funcionamiento de variador de frecuencia.
- 8) Iniciar el encendido del variador de frecuencia, con el pulsador, y el potenciómetro cambiar las rpm del motor, o pulsando el cambio de giro.

Tipo de prueba.- Aplicación y verificación.

Formato de Registro: ANEXO 4.2.4

4.1.3. Pruebas neumáticas

Para este tipo de prueba, se ha planteado de la siguiente manera el protocolo:

Procedimiento

- 1) Inicio de prueba.
- 2) Tiempo de duración de la prueba.
- 3) Verificar la alimentación de aire al sistema
- 4) Verificar que las electroválvulas estén conectadas.
- 5) Emitir la señal para cerciorarse de la conmutación del solenoide.
- 6) Empotrar los pistones para que tengan estabilidad.

Tipo de prueba.- *Aplicación, observación y verificación.*

Formato de Registro: ANEXO 4.3

4.2 Pruebas

Las pruebas que han sido descritas en la sección 4.1., fueron pruebas independientes de los sistemas mecánico, eléctrico y neumático. Estas fueron desarrolladas por separado para comprobar la correcta funcionalidad de cada uno de los sistemas que componen el sistema total. En la presente sección, se desarrollaron pruebas del sistema conjunto (sistemas mecánico, eléctrico y neumático), las cuales permitieron observar si el sistema funcionaba según lo establecido o si existía algún tipo de fallo, y si así lo fuera corregirlo de inmediato.

Para el desarrollo de estas pruebas, se han utilizado dos pallets, estos poseen en su parte posterior placas metálicas que permite a los sensores reconocer el bit más significativo, de esta manera los sensores detectan y permiten conocer si es un pallet con codificación par o impar, en caso de que la codificación fuera par se determina que se tiene un producto “A” y en el caso de que fuera impar el producto resultaría de tipo “B”.



Figura 117. Codificación de los pallets.

PRIMERA PRUEBA

En la primera prueba de la línea de producción, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 18.

Datos obtenidos en la primera prueba

N°	CICLO	T.
Pallet	CICLO (min)	
1	A	3.01
2	A	2.97
3	B	2.96
4	B	3.06

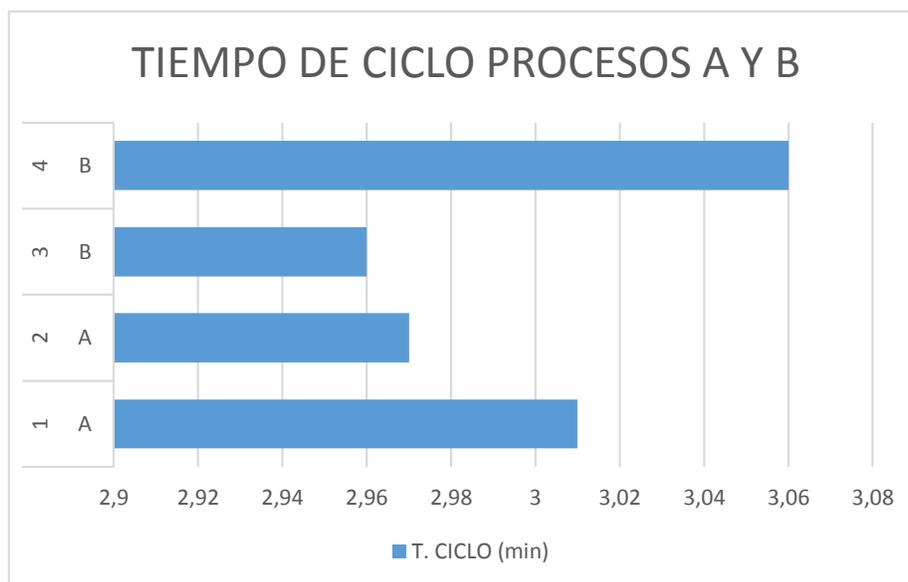


Figura 118. Tiempos de ciclo resultantes en las primeras pruebas de envasados A y B

El tiempo es aceptable, para un proceso de este tipo, sin que haya tenido interferencias en el motor o por parte de la cadena.

SEGUNDA PRUEBA

Se lograron tiempos de ciclo similares al de la primera prueba, con esto se verifica que los tiempos de ciclo son los estimados para la longitud de la cadena y el proceso.

Tabla 19.
Datos obtenidos en la segunda prueba

N°	CICLO	T.
Pallet	CICLO (min)	
1	A	2.98
2	B	3.01
3	A	2.99
4	B	3.02

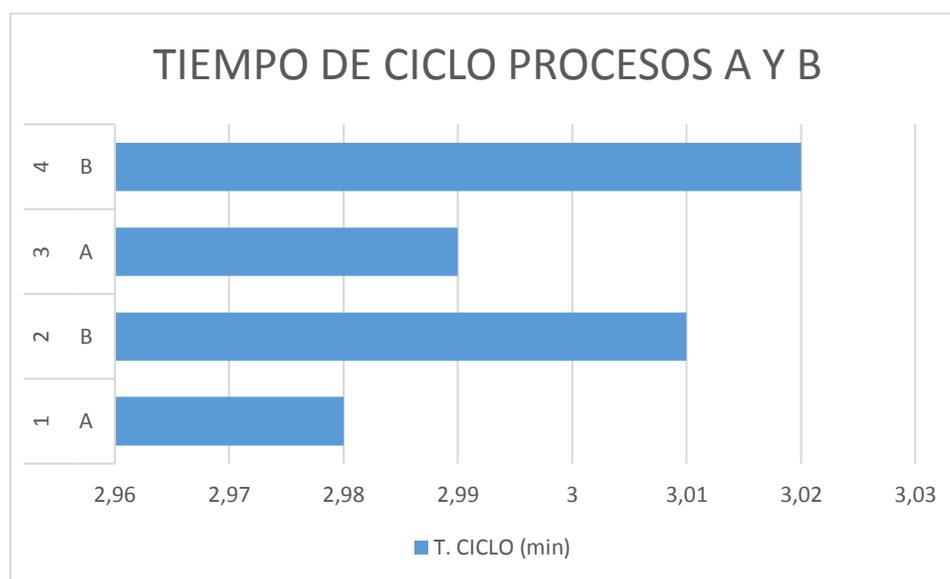


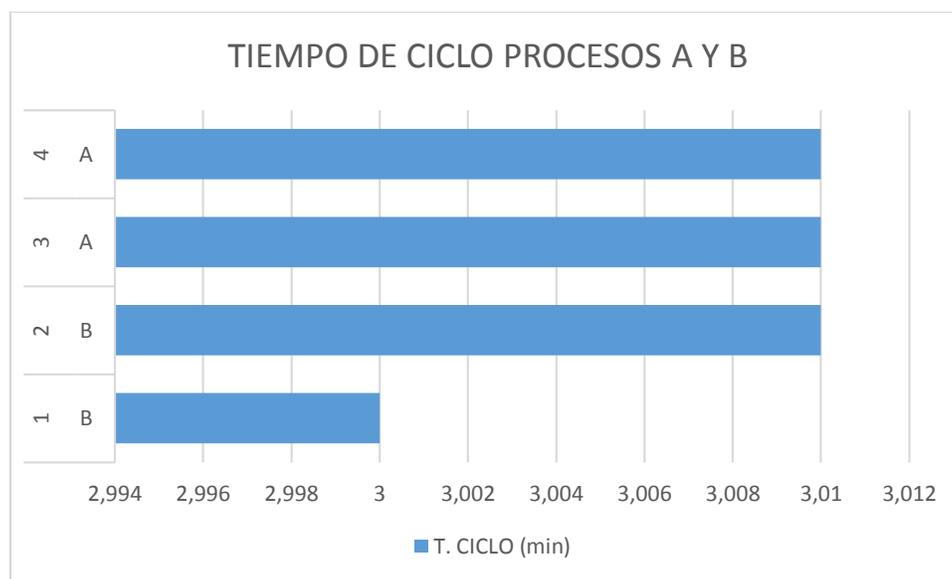
Figura 119. Tiempos de ciclo resultantes en las segundas pruebas de envasados A y B

TERCERA PRUEBA

Se obtienen resultados similares a las dos pruebas anteriores, lo que ratifica la verificación de tiempos de ciclo esperados.

Tabla 20.*Datos obtenidos en la tercera prueba.*

Pallet	N°	CICLO	T.
			CICLO (min)
	1	B	3.00
	2	B	3.01
	3	A	3.01
	4	A	3.01

**Figura 120.** Tiempos de ciclo resultantes en las terceras pruebas de envasados A y B

4.3 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios con respecto al mecanismo implementado. Este trabaja conjuntamente con el motor que está conectado a un variador de frecuencia, este permite el cambio de giro de la banda, así como su aumento o decremento de velocidad.

La similitud de tiempos de ciclo en los procesos, da entender que la velocidad en los procesos, tanto del producto A como del B es bastante similar. Con esto, también se pudo verificar que el movimiento que genera la banda es el adecuado, no se observó trabas o algún tipo de falla que impidiera su correcto desempeño.

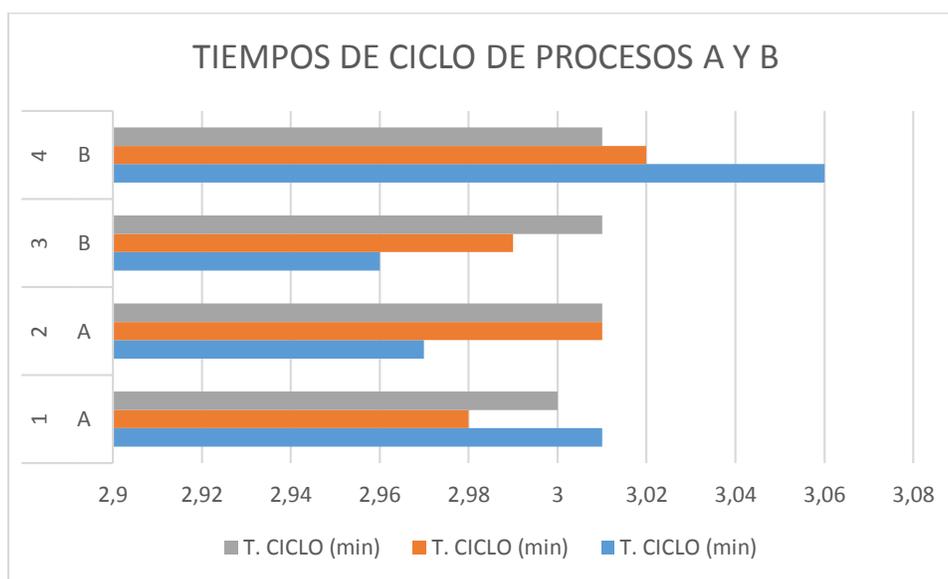


Figura 121. Tiempos de ciclo resultantes en las pruebas realizadas para los procesos de envasado de los productos A y B (Gris: prueba 3, Naranja: prueba 2, Azul: prueba1)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se diseñó e implementó estaciones de trabajo en la banda transportadora que se encuentra en el Laboratorio de Control Industrial para aplicaciones de automatización industrial. Fueron colocadas cinco estaciones de trabajo que permitirían la emulación de un proceso automático de envasado de líquidos.

Se diseñó y construyó un mecanismo de transmisión de potencia directa que permite el cambio de giro de la banda transportadora. Este mecanismo posee dos ejes que generan una doble tracción para permitir el movimiento de la banda en los dos sentidos.

Se examinó y reconectó el tablero industrial perteneciente al CIM CENTRAL, ya que el cableado estaba inoperable, se volvió a realizar la conexión de los sensores con una red multiplexada, la cual facilita la comunicación y el envío de datos bit a bit. Además, se conectó las tuberías neumáticas de electroválvulas, frenos y pistones.

Empleamos elementos propios del laboratorio de Control Industrial, como pistones de simple efecto, un variador de frecuencia. PLCs, sensores, fuentes de alimentación, borneras, contactores, y demás elementos.

Se implementó correctamente las cinco estaciones de trabajo, las cuales emulan el proceso de envasado de líquidos, este proceso fue solo demostrativo, para corroborar la funcionalidad del cambio de giro de la banda transportadora. Posterior a esto el departamento de eléctrica y electrónica, podrá hacer uso de la banda transportadora, cambiando las estaciones o los

componentes de control, especialmente para el proyecto conjunto de fin de unidad que integra algunas asignaturas como; control industrial, PLC, Electrofluidos.

Las pruebas del mecanismo fueron exitosas. Se obtuvo un tiempo promedio de ciclo en el proceso de envasado del producto A de 2.995 min, con una velocidad baja programada en el variador, mientras que para el proceso B, se obtuvo un tiempo de ciclo promedio de 3.01 min. Con esto, se concluye que el mecanismo trabaja de manera adecuada para el objetivo del presente proyecto.

El elemento más crítico ha resultado ser el primer eje. Este es el que soporta el torque del motor como entrada, se ha determinado que existe un mayor momento flector en el apoyo B del eje, con un valor de $M_a = 1,68 \text{ kNm}$. Aplicando los factores de Marin se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga del eje con un valor de $S_e = 146,08 \text{ MPa}$ además de utilizar la ecuación de Goodman para encontrar un factor de seguridad de 2,83. A su vez, en el cálculo del diámetro de los ejes se ha obtenido un resultado de 22 mm, esto excede con 2mm al diámetro del eje implementado, pero por motivos de acoplamiento con los elementos originales de la banda, y tras un análisis, se ha decidido mantener 20 mm como diámetro de los ejes como lo tenía el eje que ejercía la tracción anterior en la banda, sin tener problemas al momento de trabajar.

Los coeficientes de seguridad obtenidos en los diferentes cálculos de los elementos que componen el sistema, garantizan que, bajo desviaciones aleatorias de los requerimientos previstos, existe un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas necesarias.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere a futuro el uso de nuevos dispositivos para un mejoramiento de la tecnología y de esta forma ampliar la emulación de aplicaciones industriales.

Implementar un soporte para el motor que minimice las vibraciones que este provoca, ocasionando que la banda tienda a pandearse de forma cóncava.

Se sugiere colocar un panel de control con HMI, para que el operador pueda manipular el proceso de forma local y remota.

Se sugiere realizar un mantenimiento de la banda transportadora regularmente.

Se sugiere colocar la fase de tierra en la línea trifásica de alimentación del motor para que sea adecuado el uso de los diferentes elementos.

Se aconseja utilizar e informarse de catálogos de proveedores nacionales para consultar la disponibilidad de elementos mecánicos o de repuesto para la banda transportadora, ya que puede ser de gran dificultad encontrar elementos o repuestos originales para esta.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ABB. (2018). *ABB*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- [2] Álvarez, S., & Salazar, I. (2012). *Automatización Y Habilitación Del Sistema De Engranajes Planetarios Para La Práctica “Caja De Cambios Automática” Del Laboratorio De Mecanismos Y Servomecanismos Del DECEM*. Sangolquí.
- [3] Amazon. (2018). Obtenido de <https://www.amazon.es/Alimentacion-Transformador-Interruptor-Computadora-Impresora/dp/B0758BNMLH>
- [4] AtlasCopco. (1986). *Guía de instalación de aire comprimido*.
- [5] Bolton. (2004). *Instrumentation and Control Systems*. Newnes.
- [6] BOLTON. (2013). *MECATRÓNICA*. Alfa Omega.
- [7] Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- [8] BULNES, M. (2014). *Catálogo de Transmisión de Potencia*. Sevilla: Carretera Amarilla.
- [9] Castrillón, T. (14 de Junio de 2013). *AINIA*. Obtenido de Embotelladoras: <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/Embotelladoras?OpenDocument>
- [10] Cortés, M. (28 de Abril de 2014). *MAQUIENVAS S.L.* Obtenido de Elección De Maquinaria Para El Envasado De Productos Líquidos: [http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/94A7229B0A8886C3C1256F250063FA7F/\\$FILE/Elecci%C3%B3n%20de%20maquinaria%20par%20el%20envasado%20de%20productos%20l%C3%ADquidos.MAQUIENVAS.pdf?OpenElement](http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/94A7229B0A8886C3C1256F250063FA7F/$FILE/Elecci%C3%B3n%20de%20maquinaria%20par%20el%20envasado%20de%20productos%20l%C3%ADquidos.MAQUIENVAS.pdf?OpenElement)
- [11] DELTA, A. (2018). *DELTA*. Obtenido de https://shopdelta.eu/awg_l2_aid938.html
- [12] DIPAC. (22 de OCTUBRE de 2018). *DIPAC*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/aisi-1018-transmision>
- [13] electronic, i. (2018). *ifm electronic*. Obtenido de <https://www.ifm.com/ar/es>
- [14] elementosprotección. (agosto de 2017). *elementos de proteccion electronicos*. Obtenido de RS motores: <https://es.rs-online.com/web/p/disyuntores-para-proteccion-de-motores/3515533/>
- [15] EXSOL. (18 de Enero de 2017). *Novedades de EXSOL y artículos sobre Automación Industrial*. Obtenido de ¿QUÉ ES LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL?: <http://www.exsol.com.ar/automatizacion-industrial/>

- [16] Granollers, A., & Ponsa, P. (22 de Agosto de 2013). *Universidad Politécnica de Catalunya*. Obtenido de Diseño y automatización industrial: <https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- [17] HUBOT. (2016). *HUBOT*. Obtenido de <https://www.hubot.cl/products-page-2/sensores/sensor-de-detecci%C2%A2n-de-metales-4-mm-para-arduino/>
- [18] Huthoefer, A. (25 de Abril de 2017). *Grupo FRANJA*. Obtenido de DE LA INDUSTRIA 1.0 A LA 4.0: <http://grupofranja.com/index.php/oftalmica/item/1763-de-la-industria-1-0-a-la-4-0>
- [19] Intermec. (15 de diciembre de 2015). *Intermec S.A.* Obtenido de Intermec S.A.: <https://www.intermec.com.co/>
- [20] Jiménez, D. (29 de Agosto de 2010). *Automatización Industrial*. Obtenido de Orígenes: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/08/los-origenes.html>
- [21] Juvinal, R., & Marshek, K. (2016). *Fundamentals of Machine Component Design*. Michigan: Wiley.
- [22] LED, E. (febrero de 2018). *Efecto Led*. Obtenido de <https://www.efectoled.com/blog/ques-y-como-funciona-un-disyuntor/>
- [23] LogicBus. (2018). *LogicBus*. Obtenido de <http://www.logicbus.com.mx/plc.php>
- [24] MachinePoint. (13 de Agosto de 2015). *Machine Point Engineering*. Obtenido de Llenado de Líquidos: https://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage_technology/llenado_de_liquidos.html
- [25] Majumdar, S. (1997). *Sistemas neumáticos: Principios y Mantenimiento*. McGraw Hill.
- [26] Mecafenix. (2018). Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-inductivo/>
- [27] Meshlab. (20 de octubre de 2018). *Meshlab*. Obtenido de <http://www.meshlab.net/>
- [28] Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., & Mital, A. (2008). *Desarrollo de Productos*. Oxford: Elsevier.
- [29] Mott. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: PEARSON.
- [30] Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México DF: 6ta ed. Pearson Prentice Hall.
- [31] Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas*. México DF.: PEARSON.
- [32] Piedrafita, R. (2008). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. RA-MA.

- [33] QimiNet. (9 de Mayo de 2011). *QumiNet.com*. Obtenido de Los 3 diferentes procesos de envasado de líquidos: <https://www.quiminet.com/articulos/los-3-diferentes-procesos-de-ensado-de-liquidos-56160.htm>
- [34] Riva Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- [35] Sale, E. W. (2018). *Electric house*. Obtenido de <http://www.electricmotorwholesale.com/BALDOR-M3158T-8/>
- [36] Sanfeliu, A. (08 de Abril de 2012). *Evolución histórica de la automatización de los procesos industriales*. Obtenido de Enfoque de la automatización en procesos administrativos: http://members.tripod.com/iua_informatica.ar/informatica_industrial/download/historia.pdf
- [37] Tompkins, J. W. (2006). *Planeación de instalaciones*. Thomson.
- [38] Translink. (Diciembre de 2018). *Translink*. Obtenido de Translink: https://www.translinkpt.com/wp-content/uploads/2018/02/pinones_discos_norma_ASA.pdf
- [39] Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- [40] Velasco, J. (2007). *Organización de la producción*. Madrid: Pirámide.
- [41] Wolf, A. y. (2005). *Grippers in motion*. Italia: Springer.

ANEXOS

ANEXOS 1

MANUAL DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO

ANEXOS 2
PLANOS

ANEXOS 3

ESQUEMAS

ANEXOS 4
PROTOCOLO DE PRUEBAS

ANEXOS 5

COSTOS