



**Diseño e implementación de un prototipo automatizado para el llenado y tapado
de botellas de gel antibacterial Bio-Comfy**

Altamirano Chingay, Edwin Iván

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica, Automatización
y Control

Ing. Ayala Taco, Jaime Paúl PhD.



27 de agosto del 2020



Document Information

Analyzed document	TRABAJO_DE_TITULACIÓN_ALTAMIRANO_CHINGAY.pdf (D78256621)
Submitted	8/28/2020 3:03:00 AM
Submitted by	Ayala Taco Jaime Paúl
Submitter email	jpayala@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	jpayala.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS RODAS FINAL.docx Document TESIS RODAS FINAL.docx (D55018849)	 7
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis Arteaga Nenger.pdf Document Tesis Arteaga Nenger.pdf (D47048298) Submitted by: oaibarra@espe.edu.ec Receiver: oaibarra.espe@analysis.arkund.com	 7
W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/234576827.pdf Fetched: 7/25/2020 1:54:57 AM	 1



creado automáticamente por:
JAIME PAUL
AYALA TACO



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Diseño e implementación de un prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de gel antibacterial Bio-Comfy" fue realizado por el señor Altamirano Chingay, Edwin Iván, el cual ha sido revisado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 27 de agosto de 2020

 Escanea para verificar la autenticidad de
**JAIIME PAUL
AYALA TACO**

Ing. Jaime Paúl Ayala Taco PhD.

Director



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Altamirano Chingay Edwin Iván**, con C.I. 1720679735, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "Diseño e implementación de un prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de gel antibacterial Bio-comfy" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de agosto de 2020

Altamirano Chingay, Edwin Iván

CI: 1720679735



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Altamirano Chingay Edwin Iván**, con cédula de ciudadanía n° 1720679735, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación "Diseño e implementación de un prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de gel antibacterial Bio-comfy" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de agosto de 2020



Altamirano Chingay, Edwin Iván
CI: 1720679735

Dedicatoria

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres Leonardo y Betty, que con su amor, trabajo y esfuerzo han sabido guiarme con su ejemplo y constante motivación para que cada una de mis metas personales y profesionales se hagan realidad, a mis tías Ivania y Nelly quienes constantemente estuvieron pendientes de mi a lo largo de mi vida, siempre preocupadas por mi bienestar y evolución académica, empujando hacia una misma causa. A mis abuelitos Gonzalo y Enriqueta, quienes con su amor y bendiciones me han dado ánimos en momentos inciertos. A mis hermanos que con su ejemplo me han mostrado el lado exitoso de la vida y quienes han sido mi motivación de superación y admiración para crecer profesionalmente. A través del esfuerzo que he realizado quiero expresarles mi profunda gratitud por todo lo que han aportado en mi vida.

Mi inmenso cariño, admiración y respeto hacia ustedes.

Iván Altamirano

Agradecimientos

Inmensamente agradecido a la vida y a Dios por las oportunidades que ha puesto en mi camino y por todos los retos que a diario han sabido forjarme a lo largo de mi vida como persona.

Agradezco a mis padres Leonardo y Betty por su amor y dedicación. Por poner toda su confianza en mí, por ser todo el apoyo incondicional a lo largo de mi vida, sin el cariño y respaldo de ellos, nada de esto hubiese sido posible.

Agradezco a Paula Salazar por la confianza depositada en mí, por permitirme desarrollar mi proyecto en su empresa BIO-COMFY.

Al ingeniero Paúl Ayala quien sin ningún reparo me brindó la mano al momento de ser mi director de Tesis y supo poner en mí, la confianza para saber que lo lograría. Por su valioso tiempo y dedicación le quedo eternamente agradecido.

Infinitamente gracias a todos.

Iván Altamirano

Índice de contenidos

Portada.....	1
Resultado de análisis de contenido URKUND	2
Certificación trabajo de titulación	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	14
Índice de figuras	16
Resumen.....	22
Abstract.....	23
Capítulo 1	24
Introducción.....	24
Antecedentes	24
Análisis FODA Bio-Comfy	25
Niveles de Producción de Llenado y Tapado de Botellas	25
Justificación e Importancia	26
Alcance del proyecto.....	28
Objetivos.....	30
Objetivo general	30
Objetivos específicos.....	30

	9
Organización de la tesis	31
Capítulo 2.....	33
Marco referencial.....	33
Introducción	33
Procesos y Sistemas Automatizados.....	33
La Plataforma Arduino y Hardware Alternativo	35
Soluciones Arduino industriales robustas	37
Automatización orientada a equipos de dosificación	38
Métodos de Envasado de productos líquidos	39
Tipos de envasadoras por su capacidad de producción	40
Automatización en procesos de tapado y sellado de producto	43
Tapadoras Manuales.....	43
Tapadoras Semiautomáticas	44
Tapadoras Automáticas.....	46
Sistema de Instrumentación	47
Sensores Inteligentes.....	49
Sensores de caudal.....	51
Sensores de peso	52
Sensores de Nivel	53
Sensores de proximidad.....	57
Sistema Actuador.....	64
Actuadores Neumáticos	64
Actuadores Eléctricos.....	66
Capítulo 3.....	69
Ingeniería conceptual y básica	69

	10
Descripción de la planta y requerimientos técnicos del proyecto.....	69
Selección y análisis del tipo de prototipo a implementar.....	70
Ingeniería Conceptual para el Prototipo Automatizado.....	71
Requerimientos necesarios para el Esbozado y Construcción del Prototipo....	71
Viabilidad y disponibilidad técnica para el Esbozado y Construcción del Prototipo Automatizado	72
Esquema y ubicación de las etapas en el prototipo	73
Ingeniería Conceptual para el Sistema de Instrumentación.....	74
Requerimientos necesarios para el sistema de instrumentación	74
Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación	75
Señales y variables a ser medidas en cada etapa del proceso.....	78
Esquema de ubicación para cada elemento de medida.....	80
Ingeniería Conceptual para el sistema de Control.....	84
Requerimientos del proceso	84
Requerimientos Necesarios para el Sistema de Control.....	87
Análisis del proceso de Control con los elementos que intervienen en el proceso.....	87
Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Control	95
Esquema y ubicación de los elementos de control y actuadores existentes. ...	96
Ingeniería Conceptual para la Interfaz Humano Máquina.....	99
Requerimientos necesarios para la Interfaz HMI	99
Viabilidad y Disponibilidad técnica para la Interfaz Humano Máquina	100
Ingeniería Básica para la elaboración del Prototipo Automatizado	101
Análisis y revisión de herramientas, componentes y piezas necesarias de la estructura.	101

	11
Ingeniería Básica para el sistema de Instrumentación.....	105
Análisis y revisión de instrumentos necesarios dentro del sistema.	105
Análisis de instrumentos existentes en el mercado	107
Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones.....	110
Ingeniería Básica para el sistema de Control	116
Análisis y dimensionamiento de elementos de control necesarios.....	116
Elaboración de diagramas de control para los elementos del sistema.	136
Análisis de elementos de control disponibles en el mercado	140
Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones.	154
Ingeniería Básica para la Interfaz Humano Máquina	170
Análisis y revisión de pantallas para interfaces HMI.	170
Análisis de equipos y software HMI disponible en el mercado.....	171
Selección y análisis de software para el diseño de Interfaces HMI	172
Selección y análisis de pantallas HMI y software de diseño.	174
Capítulo 4.....	175
Ingeniería de detalle	175
Ingeniería de Detalle para el Sistema de Instrumentación.....	175
Levantamiento de los diagramas eléctricos de conexión y montaje.....	175
Ingeniería de Detalle para el Sistema de Control	177
Diseño del software y lógica de control del sistema de control	177
Programación del Sistema.....	183
Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo.....	183
Diseño Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	183
Arquitectura de pantallas HMI	185

	12
Plantillas de las pantallas de la interfaz HMI	187
Desarrollo de la lógica de Control de la Interfaz HMI	189
Particularidades de la interfaz HMI	190
Creación de Interfaz HMI en Nextion Editor	190
Capítulo 5.....	197
Implementación	197
Creación del Hardware PCB	200
Creación de librerías y paquetes.....	203
Visualización de placa PCB generada.....	212
Programación del Controlador.....	213
Programación de la Interfaz HMI	215
Librería Nextion y Rugged Mega.....	216
Capítulo 6.....	217
Pruebas de funcionamiento	217
Pruebas de funcionamiento Etapa de llenado.	217
Pruebas de funcionamiento de la etapa de colocación de tapa.	221
Pruebas de funcionamiento de la etapa de ajuste.	222
Pruebas de funcionamiento de Interfaz HMI.....	223
Prueba general del proceso	225
Comparativa entre el sistema automatizado implementado vs el sistema manual.	226
Capítulo 7.....	227
Análisis de resultados.....	227
Análisis de resultados de la etapa de dosificación.....	227
Análisis de resultados de la etapa de colocación de tapas.....	230

	13
Análisis de resultados de la etapa de Ajuste de tapas.....	230
Análisis de resultados de la interfaz HMI.....	230
Análisis de resultados del proceso de producción.	230
Presupuesto.....	231
Capítulo 8.....	232
Conclusiones y Recomendaciones.....	232
Conclusiones.	232
Recomendaciones.	233
Referencias Bibliográficas	235
Anexos.....	

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Matriz FODA Bio-Comfy.</i>	25
Tabla 2. <i>Matriz de valores de producción.</i>	25
Tabla 3. <i>Variables relacionadas con el prototipo automatizado.</i>	70
Tabla 4. <i>Tabla comparativa de disponibilidad técnica de sensores para la dosificación</i>	77
Tabla 5. <i>Materiales detectados por sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctricos.</i>	78
Tabla 6. <i>Especificaciones de elementos para la banda de transporte.</i>	102
Tabla 7. <i>Especificaciones de elementos de la etapa de llenado.</i>	103
Tabla 8. <i>Especificación de piezas y elementos de la etapa de colocación de tapas.</i>	104
Tabla 9. <i>Especificación de piezas y elementos de la etapa de ajuste de tapas.</i>	105
Tabla 10. <i>Descripción de los sensores que intervienen en el prototipo automatizado.</i>	107
Tabla 11. <i>Sensores capacitivos de nivel sin contacto.</i>	108
Tabla 12. <i>Sensores de proximidad fotoeléctricos.</i>	109
Tabla 13. <i>Interruptores de final de carrera.</i>	110
Tabla 14. <i>Pines necesarios mínimos requeridos para el sistema.</i>	117
Tabla 15. <i>Electroválvulas para el prototipo.</i>	129
Tabla 16. <i>Lista de cilindros neumáticos necesarios.</i>	129
Tabla 17. <i>Propiedades del gel antibacterial Bio-Comfy.</i>	135
Tabla 18. <i>Comparación técnica entre tarjetas de control de bajo costo.</i>	144
Tabla 19. <i>Comparativa de electroválvulas por marcas.</i>	149
Tabla 20. <i>Elementos de control y maniobra-relés.</i>	150
Tabla 21. <i>Alternativas de motores DC para sistema elevador.</i>	151
Tabla 22. <i>Alternativas de motores para banda de transporte.</i>	152

	15
Tabla 23. <i>Alternativas de cilindros neumáticos por fabricantes.</i>	152
Tabla 24. <i>Alternativas de bombas para la dosificación de producto.</i>	154
Tabla 25. <i>Consumo de corriente de sensores del sistema.</i>	164
Tabla 26. <i>Consumo de corriente de cargas del sistema.</i>	164
Tabla 27. <i>Comparación entre pantallas para interfaces HMI de bajo costo.</i>	171
Tabla 28. <i>Componentes utilizados en el hardware PCB.</i>	200
Tabla 29. <i>Pruebas de dosificación normal por tiempo y pwm (1)</i>	218
Tabla 30. <i>Pruebas de dosificación normal por tiempo y PWM (2)</i>	219
Tabla 31. <i>Pruebas de dosificación normal por tiempo y PWM (3).</i>	219
Tabla 32. <i>Pruebas de dosificación rectificadora</i>	220
Tabla 33. <i>Tiempo promedio empleado en la etapa de llenado</i>	220
Tabla 34. <i>Pruebas de etapa de colocación de tapas</i>	221
Tabla 35. <i>Tiempo promedio empleado en la etapa de colocación de tapa</i>	222
Tabla 36. <i>Pruebas de etapa de ajuste</i>	222
Tabla 37. <i>Evaluación de tiempo requerido en etapa de ajuste.</i>	222
Tabla 38. <i>Validación de control de pedidos</i>	223
Tabla 39. <i>Validación del estado del proceso y las unidades producidas</i>	224
Tabla 40. <i>Validación de generación de alarmas</i>	224
Tabla 41. <i>Pruebas de producción</i>	225
Tabla 42. <i>Comparativa entre el proceso manual y el proceso automatizado</i>	226
Tabla 43. <i>Costos utilizados en el prototipo</i>	231

Índice de figuras

Figura 1. <i>Modelo de estructura de la automatización de procesos.</i>	34
Figura 2. <i>Envasadora de baja capacidad manual.</i>	41
Figura 3. <i>Envasadora lineal automática DNL.</i>	42
Figura 4. <i>Envasadora rotativa automática DNR.</i>	43
Figura 5. <i>Tapadora manual XK-CI</i>	44
Figura 6. <i>Tapadoras semiautomáticas DDX-450 Y YL-P.</i>	45
Figura 7. <i>Tapadora lineal automática qdx-1 para tapas redondos planos.</i>	47
Figura 8. <i>Clasificación de los sensores según la variable física a medir.</i>	49
Figura 9. <i>Diagrama de un sensor inteligente.</i>	50
Figura 10. <i>Primer modo de integración de un sensor inteligente.</i>	51
Figura 11. <i>Sensores de caudal MAGFLOW con IO-LINK.</i>	52
Figura 12. <i>Módulo de pesaje MT</i>	53
Figura 13. <i>Sensores de nivel</i>	54
Figura 14. <i>Sensor de nivel ultrasónico.</i>	55
Figura 15. <i>Sensor de nivel capacitivo</i>	56
Figura 16. <i>Sensor capacitivo sin contacto.</i>	57
Figura 17. <i>Sensor de proximidad</i>	58
Figura 18. <i>Bloques de un sensor inductivo.</i>	59
Figura 19. <i>Configuración de sensores PNP, NPN.</i>	60
Figura 20. <i>Sensor capacitivo</i>	61
Figura 21. <i>Funcionamiento del sensor capacitivo</i>	61
Figura 22. <i>Sensores fotoeléctricos.</i>	63

Figura 23. <i>Sensores fotoeléctricos por bloqueo de haz.</i>	63
Figura 24. <i>Sensores fotoeléctricos por retorno de haz.</i>	64
Figura 25. <i>Cilindro de simple efecto.</i>	65
Figura 26. <i>Cilindro de doble efecto</i>	66
Figura 27. <i>Clasificación de los actuadores por el tipo de energía de alimentación.</i>	67
Figura 28. <i>Motor paso a paso híbrido.</i>	68
Figura 29. <i>Esquema y ubicación de etapas en el prototipo automatizado.</i>	74
Figura 30. <i>Envase para llenado de gel antibacterial 75 ml.</i>	74
Figura 31. <i>Ubicación de elemento de medida para la etapa de dosificación</i>	81
Figura 32. <i>Vista lateral del instrumento de medida para la dosificación.</i>	82
Figura 33. <i>Ubicación de los fines de carrera de la etapa de llenado.</i>	82
Figura 34. <i>Sensores de nivel en el almacenamiento de producto.</i>	83
Figura 35. <i>Ubicación del sensor de disponibilidad de tapas en el almacén.</i>	83
Figura 36. <i>Ubicación de los sensores para las etapas del proceso.</i>	84
Figura 37. <i>Esquema del proceso para el prototipo automatizado.</i>	85
Figura 38. <i>Diagrama de proceso utilizado en el prototipo automatizado.</i>	86
Figura 39. <i>Diagrama del sistema de control automatizado.</i>	87
Figura 40. <i>Diagrama de proceso de etapa de llenado.</i>	89
Figura 41. <i>Diagrama de proceso de etapa de llenado.</i>	90
Figura 42. <i>Diagrama de proceso de subrutina de dosificación.</i>	91
Figura 43. <i>Diagrama de proceso de etapa de colocación de tapa.</i>	93
Figura 44. <i>Diagrama de proceso de ajuste de tapa.</i>	94
Figura 45. <i>Ubicación de elementos actuadores para la dosificación del producto.</i>	96
Figura 46. <i>Ubicación del elemento actuador de la colocación de tapas.</i>	97
Figura 47. <i>Posición de los elementos de la etapa de ajuste de tapas.</i>	98

Figura 48. <i>Elementos actuadores del sistema de movimiento.....</i>	99
Figura 49. <i>Sensor de nivel capacitivo sin contacto modelo XKC-Y25</i>	112
Figura 50. <i>Sensor fotoeléctrico FS-50NK.....</i>	113
Figura 51. <i>Sensor fotoeléctrico E18-D80NK</i>	114
Figura 52. <i>Diagrama de sensor fotoeléctrico E18-D80NK.....</i>	115
Figura 53. <i>Tipos de cableado de sensor E18-D80NK</i>	115
Figura 54. <i>Interruptor fin de carrera KW11-3Z-2.</i>	116
Figura 55. <i>Gráfico para el cálculo del torque del motor requerido.</i>	119
Figura 56. <i>Representación gráfica del motor con acople directo</i>	120
Figura 57. <i>Diagrama del mecanismo del elevador de dosificación.....</i>	122
Figura 58. <i>Característica inherente de válvulas de control comerciales.</i>	125
Figura 59. <i>Representación de cv de una válvula.....</i>	125
Figura 60. <i>Áreas de cilindro de doble efecto.....</i>	132
Figura 61. <i>Diagrama de control para el proceso de dosificación.....</i>	136
Figura 62. <i>Diagrama neumático del sistema.....</i>	137
Figura 63. <i>Diagrama espacio - fase del circuito neumático.</i>	138
Figura 64. <i>Señales de mando del circuito neumático.....</i>	139
Figura 65. <i>Posicionamiento de los elementos de control del circuito neumático.</i>	140
Figura 66. <i>Arduino mega 2560 R3 - vista frontal.....</i>	141
Figura 67. <i>Rugged mega-vista frontal superior.</i>	142
Figura 68. <i>Rugged mega vista posterior.</i>	143
Figura 69. <i>Diagrama esquemático de Rugged Mega.....</i>	146
Figura 70. <i>Circuito de protección de E/S.....</i>	146
Figura 71. <i>Comparación de circuitos (a) con Arduino y Ruggeduino.....</i>	147
Figura 72. <i>Comparación de circuitos (b) con arduino y ruggeduino.....</i>	148

	19
Figura 73. <i>Tarjeta de control rugged mega 2560.</i>	155
Figura 74. <i>Electroválvula neumática biestable.</i>	157
Figura 75. <i>Mod-Relay-4CH-5V.</i>	158
Figura 76. <i>Motor DC JGA25-344</i>	159
Figura 77. <i>Motor NEMA 23 paso 57HD4016-01 Casun.</i>	160
Figura 78. <i>Cilindro de doble efecto XCPC-MA6432.</i>	161
Figura 79. <i>Micro-bomba de diafragma 0142YB-12-60.</i>	162
Figura 80. <i>XL4015 convertidor dc-dc step-down 5 A.</i>	163
Figura 81. <i>Módulo L298N</i>	166
Figura 82. <i>Diagrama de conexiones del módulo HY-DIV 268N -5A</i>	168
Figura 83. <i>Panel de configuración del módulo HY-DIV 268N -5ª.</i>	169
Figura 84. <i>Interfaz de usuario DOPSOFT.</i>	172
Figura 85. <i>Interfaz de usuario Nextion editor.</i>	173
Figura 86. <i>Pantalla Nextion NX8048T070_011</i>	174
Figura 87. <i>Diagrama de flujo de la etapa de dosificación.</i>	178
Figura 88. <i>Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas.</i>	179
Figura 89. <i>Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas.</i>	180
Figura 90. <i>Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas</i>	181
Figura 91. <i>Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas.</i>	182
Figura 92. <i>Icono del driver de conexión serial rugged mega.</i>	183
Figura 93. <i>Arquitectura de pantallas de interfaz HMI.</i>	185
Figura 94. <i>Plantilla de la interfaz de la pantalla de inicialización.</i>	187
Figura 95. <i>Pantalla principal con registro de usuario.</i>	187
Figura 96. <i>Plantilla de la interfaz de la pantalla de pedido.</i>	188
Figura 97. <i>Plantilla de la interfaz general de proceso.</i>	188

Figura 98. <i>Plantilla de las ventanas de despliegue de alertas.</i>	189
Figura 99. <i>Configuración inicial para crear interfaz HMI en nextion editor.</i>	191
Figura 100. <i>Selección de orientación de pantalla en interfaz HMI.</i>	191
Figura 101. <i>Interfaz de usuario de nextion editor V1.60.2</i>	192
Figura 102. <i>Visualización de pantalla de inicialización.</i>	193
Figura 103. <i>Pantalla de control de ingreso de usuarios.</i>	193
Figura 104. <i>Visualización de pantalla de acceso denegado.</i>	194
Figura 105. <i>Visualización de pantalla de pedido</i>	194
Figura 106. <i>Visualización de pantalla de proceso</i>	195
Figura 107. <i>Ventana de despliegue de alerta de gel antibacterial</i>	195
Figura 108. <i>Ventana de despliegue de alerta de tapas no disponibles.</i>	196
Figura 109. <i>Ventana de despliegue de alerta de gel antibacterial no disponible</i>	196
Figura 110. <i>Circuito incorrecto para leer circuitos digitales</i>	197
Figura 111. <i>Circuito pull up.</i>	198
Figura 112. <i>Circuito pull down.</i>	199
Figura 113. <i>Configuración NPN Y PNP.</i>	199
Figura 114. <i>Paquete ares Rugged mega para implementación de la PCB.</i>	203
Figura 115. <i>Crear paquete ARES -PCB.</i>	203
Figura 116. <i>Asignación de pines al paquete.</i>	204
Figura 117. <i>Creación de librería para módulos adicionales.</i>	204
Figura 118. <i>Creación de paquetes para módulos.</i>	205
Figura 119. <i>Asignación de visualización 3D de los componentes</i>	205
Figura 120. <i>Controlador Rugged mega</i>	206
Figura 121. <i>Driver L298N.</i>	207
Figura 122. <i>Módulo regulador de voltaje step down.</i>	207

	21
Figura 123. <i>Módulo de relés de 4 canales</i>	208
Figura 124. <i>Circuito para botones de control del sistema</i>	208
Figura 125. <i>Circuito para los elementos de entrada del sistema</i>	209
Figura 126. <i>Pines de salida de control para el sistema</i>	210
Figura 127. <i>Módulos de salida a relé para activación de actuadores</i>	211
Figura 128. <i>Circuito PCB- visualización frontal superior</i>	212
Figura 129. <i>Circuito PCB - visualización 3D</i>	212
Figura 130. <i>Estructura básica de un sketch para rugged mega</i>	213
Figura 131. <i>Estructura del programa en el IDE de arduino (RuggedMega)</i>	214
Figura 132. <i>Programación de pantallas de la interfaz HMI</i>	215
Figura 133. <i>Programación de los botones y componentes de la interfaz HMI</i>	216
Figura 134. <i>Gráfica de resultados de dosificación por tiempo y PWM (1)</i>	227
Figura 135. <i>Gráfica de resultados de dosificación calibrada por tiempo y PWM (2)</i> ...	228
Figura 136. <i>Gráfica de resultados de dosificación calibrada por tiempo y PWM (3)</i> ...	229
Figura 137. <i>Gráfica de dosificación con comprobación y rectificación de medida</i>	229

Resumen

El desarrollo de la tecnología y las diferentes alternativas que hoy en día la electrónica brinda, nos da la oportunidad de crear sistemas altamente funcionales y robustos que operan eficientemente en procesos automatizados.

Una de las problemáticas representativas de la automatización, y que hace desistir a varios de sus inversionistas y dueños de empresas, es el alto costo de implementación y la infraestructura necesaria para que todos los sistemas operen adecuadamente.

En la actualidad existen varios procesos de la mediana y pequeña industria que pueden ser automatizados y que beneficiarían notoriamente la calidad de sus productos, pero se han visto limitados por los elevados costos hacia la migración a nuevas tecnologías.

El presente proyecto de investigación pretende diseñar e implementar un prototipo de sistema automatizado para la dosificación y tapado de botellas de gel antibacterial, pretendiendo mejorar los tiempos de producción y calidad del producto, sin sobrepasar un coste de inversión de \$4000 USD. Haciendo uso de hardware abierto para la implementación del sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **HARDWARE ABIERTO**
- **PROTOTIPO AUTOMATIZADO**
- **IMPLEMENTACIÓN DE BAJO COSTO**

Abstract

The development of technology and the different alternatives that electronics offer us today, gives us the opportunity to create highly functional and robust systems that operate efficiently in automated processes.

One of the representative problems in automation, and that makes several of its investors and business owners give up, is the high cost of implementation and the infrastructure necessary for all systems to operate properly.

At present there are several processes of the medium and small industry that can be automated and that would greatly benefit the quality of the products, but they have been limited by the high costs towards migration to new technologies.

This research project aims to design and implement an automated system prototype for the dosing and capping of antibacterial gel bottles, aiming to improve production times and product quality, without exceeding an investment cost of \$ 4000 USD. This project uses open hardware and software.

KEYWORDS:

- **OPEN HARDWARE**
- **LOW COST IMPLEMENTATION**
- **AUTOMATED PROTOTYPE**

Capítulo 1

Introducción

Antecedentes

Bio-Comfy es una empresa ecuatoriana que tuvo sus inicios en febrero del 2017 y que fabrica productos orgánicos de higiene personal orientados a proteger la salud de las personas al coadyuvar, en la reducción del contagio de enfermedades de tipo infecciosas causadas por microorganismos (Líderes, 2018).

Dentro de los productos que oferta Bio-Comfy se encuentra el gel antibacterial de uso diario. El cual será motivo de estudio en este trabajo de titulación.

En la actualidad Bio-Comfy realiza el proceso de manufactura de sus productos de manera manual, en el cual, la totalidad de su proceso de llenado y tapado de envases de gel antibacterial, es ejecutado por sus operarios, limitado por las aptitudes, disponibilidad y destrezas de cada persona.

De acuerdo al crecimiento proporcional de la empresa, Bio-Comfy se ve en la necesidad de mejorar sus procesos de producción para efectivizar y planificar tiempos de entrega de sus productos y el manejo adecuado de los recursos de producción.

Previo al planteamiento y alcance del proyecto, se ha realizado un análisis cuantitativo, cualitativo y económico para solventar los requerimientos y necesidades del producto y del cliente.

El análisis FODA de Bio-Comfy realizado, permitirá delimitar el alcance del proyecto enfocado en sus debilidades.

Análisis FODA Bio-Comfy

Tabla 1.

Matriz FODA Bio-Comfy.

Fortalezas	Oportunidades
Conocimiento del mercado	Alta demanda de consumo de los productos
Productos innovadores	Alianzas con empresas públicas y privadas
Recursos humanos motivados	Capital semilla por medio de concurso nacionales e internacionales.
Calidad del producto	
Proactividad en la gestión	
Debilidades	Amenazas
Procedimientos rudimentarios en los procesos de elaboración de productos.	Competencia consolidada
Poca capacidad de producción	Impuestos
Bajo nivel de inversión para maquinaria	Falta de recursos
	Falta de planificación

Nota. Estudio realizado en la empresa Bio-Comfy, por Altamirano Iván, 2018.

Niveles de Producción de Llenado y Tapado de Botellas

Tabla 2.

Matriz de valores de producción.

Nº de operarios	Operación	Horas de trabajo	Cantidad de producto
2	Manual	8	100 Unidades / diarias

Nota. Estudio realizado en la empresa Bio-Comfy, por Altamirano Iván, 2018.

La propuesta del trabajo se enmarca en el desarrollo de un sistema automatizado de bajo presupuesto (4000 USD), que permita solventar las necesidades actuales de producción en la línea de llenado y tapado de producto.

Justificación e Importancia

Bio-comfy con el fin de solventar sus necesidades en cuanto a la demanda de sus productos y la nueva expansión de mercado, se ve en la necesidad de mejorar e innovar en sus sistemas de producción, al buscar la mejora continua en la calidad de sus productos y el bienestar de sus operarios.

La automatización del proceso corresponde a un conjunto de técnicas basadas en sistemas electrónicos capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, materias primas, recursos económicos humanos y financieros.

Actualmente la demanda de producto, no es constante y depende de los pedidos que fluctúan mes a mes, habiendo casos en los cuales sus operarios deben trabajar doble jornada y a la vez son pagados horas extras para lograr cubrir con pedidos de grandes cantidades (12000 unidades en un tiempo de 15 días laborables). Improvisando nuevas estaciones de llenado y tapado, contratando personal provisional que trabaja por horas.

De acuerdo al estudio previo de la producción del gel antibacterial se pudo determinar que la cantidad promedio de producto al día es de 100 unidades haciendo uso de dos operarios en la manufactura del producto.

En la actualidad se necesitaría un nivel de producción promedio de 200 a 250 unidades por día para solventar la demanda del producto, lo cual para la empresa representaría incrementar 4 operarios más en la línea de producción de llenado y tapado de producto.

Tomando en cuenta que el valor de venta al público de gel antibacterial de 75ml es de 2 USD cada uno. A Bio-Comfy le representa un total de 400 USD diarios y 96.000 USD al año aproximadamente, en productos no vendidos.

Considerando que cada operario representa un valor de 500 USD al mes, al incrementar 4 operarios más en la línea de producción representaría un valor total de 24.000 USD anuales solo en mano de obra, sin considerar los valores internos del producto y del proceso.

En el proceso de llenado existe una problemática en la dosificación correcta en cada envase, lo cual genera en ciertos casos un retraso de hasta un 10% del total del producto final entregado por día. Lo cual representa un valor de 2400 USD en pérdidas por año en el reproceso y verificación de cantidad de producto.

Al momento de manipular de forma manual el gel antibacterial, con la utilización de embudos para llenar el producto en cada envase, se ha podido determinar que existe un desperdicio promedio de 3 litros por día, lo cual, en términos de materia prima, se estaría desperdiciando un total de 720 litros por año.

De acuerdo a una cotización previa de máquinas que puedan realizar este trabajo de forma similar, se pudo determinar que los costos oscilan entre los 18.000 USD hasta los 50.000 USD sin contar los costos de importación, movilidad e instalación del sistema, sobrepasando notoriamente el presupuesto inicial dispuesto por Bio-Comfy. Cabe mencionar que los sistemas encontrados están sobredimensionados para las necesidades actuales del proceso, tanto en niveles de producción y tipo de producto (75ml).

La propuesta de este proyecto pretende desarrollar un sistema a la medida, ajustado a los requerimientos propios del cliente, que satisfagan los niveles mínimos

de producción diaria (200 unidades) y que su funcionamiento sea el adecuado para obtener un producto de calidad con un nivel de tolerancia en la dosificación del 5%.

Con la ejecución de este proyecto Bio-Comfy pretende:

- Incrementar el nivel de producción de gel antibacterial.
- Evitar contratiempos de fabricación en entrega de pedidos.
- Evitar reproceso en los productos terminados.
- Ofrecer productos de mejor calidad, con la cantidad correcta de suministro.
- Optimizar el consumo de energía y evitar la fatiga laboral de sus trabajadores.
- Reducir los costos operativos e incrementar la mejora en el manejo de materia prima.

Alcance del proyecto

A través de la realización del presente proyecto se pretende solventar las necesidades y requerimientos de producción de botellas de gel antibacterial.

En la primera fase del proyecto se realiza el bosquejo, prototipado e implementación de la estructura sobre la cual opera el sistema.

En esta fase se dimensiona el tamaño y características de la banda transportadora que lleva las botellas vacías hasta la estación de llenado analizando la potencia y torque del motor necesario para el movimiento de la banda y un análisis del peso total soportado en el transporte de botellas.

Además, se realiza el bosquejo de los mecanismos para el suministro de gel (bomba de diafragma), mecanismo para el suministro, colocación y sellado de tapas.

El bosquejo de todo el mecanismo es realizado con el software de diseño mecánico “*Autodesk Inventor*”.

En la segunda etapa se realiza el diseño e implementación electrónica correspondiente a la automatización del sistema de llenado, verificando la operatividad de la bomba de diafragma, y la manera que se calibra el suministro de la cantidad de gel en cada envase.

Una vez calibrada la parte mecánica se realiza un circuito PCB, previamente validado, que permite integrar todo el circuito lógico de forma ordenada y sistematizada, donde la tarjeta base es un “*Rugged mega*”, que se encarga de manejar toda la parte lógica del proceso y permite conectar adecuadamente las entradas y salidas del sistema. Además, la utilización de un panel de control físico con interfaz HMI compatible con Rugged Mega que permite visualizar valores relevantes del proceso como:

- Estado del proceso

Alarmas:

- Alerta de suministro de gel próximo a acabarse

- Alerta de suministro de gel vacío.

- Alerta de suministro de tapas insuficientes

Esta fase tiene como consecuencia el diseño e implementación tanto de hardware como de firmware (código base y programación del sistema).

Finalmente, en la fase 3 se realizan pruebas que permitan calibrar el funcionamiento total del sistema para poder ser puesto en marcha.

Se verifica que se cumplan con los requerimientos y exigencias de producción dentro de la planta de producción Bio-Comfy. Y se comprueba que el sistema es capaz de producir el nivel mínimo diario de productos (200 unidades).

Para garantizar un producto de calidad, se calibran los niveles de tolerancia de error en el nivel de llenado del producto, con una aceptación del 5% sobre el nivel superior e inferior.

El proceso deberá disminuir el desperdicio de materia prima hasta en un 60%, comparado con el proceso manual.

Es importante mencionar que el suministro de botellas en la banda transportadora, el suministro de tapas en el almacén y el retiro del producto, se lo realiza de forma manual por medio de la intervención de un operario.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar e implementar un prototipo automatizado de escala real que permita realizar el llenado y tapado de botellas de plástico de 75 ml de gel antibacterial Bio-Comfy, con la utilización de hardware abierto como alternativa de automatización en la industria.

Objetivos específicos

- Desarrollar el bosquejo del sistema mecánico acorde a las necesidades del producto para que el sistema tenga un funcionamiento acorde al proceso de llenado y tapado de gel antibacterial.
- Dimensionar adecuadamente los componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y neumáticos que están presentes en el sistema para obtener un

- consumo adecuado de energía y no tener elementos sobredimensionados en el sistema (potencia de motores, bombas, cilindros neumáticos, etc.)
- Validar el funcionamiento del sistema en su totalidad para garantizar la operatividad y rendimiento para el cual fue diseñado.

Organización de la tesis

El presente proyecto se encuentra organizada en los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Introducción.

Este capítulo muestra una descripción general del proyecto, presenta la importancia y necesidad de implementar el sistema. Además, especifica el alcance y objetivos de la presente investigación.

Capítulo 2: Marco Referencial.

Se presenta la información relevante acerca de la automatización de bajo costo.

Se realiza un breve estudio de los sistemas automatizados, para el llenado, dosificado, tapado y sellado de producto en la industria.

Capítulo 3: Ingeniería Conceptual y Básica

Se describen los requerimientos del prototipo automatizado, tanto en su construcción, instrumentación, sistema de control y sistema de visualización.

Capítulo 4: Ingeniería de Detalle

Se realiza la ingeniería de detalle para el sistema automatizado.

Capítulo 5: Implementación del Prototipo Automatizado

Se construye el circuito PCB, previamente validado, que permite integrar todo el circuito lógico de forma ordenada y sistematizada.

Capítulo 6: Integración del Sistema y Pruebas de Funcionamiento

Se ubican todos los componentes actuadores y sensores dentro de la estructura del sistema y se procede a calibrar tiempos de ejecución por tarea, posicionamiento de motores, etc.

Se prueba que el sistema funcione acorde a las necesidades del proceso y que cumpla con las tareas para la cual fue diseñada.

Se verifica el funcionamiento de las alertas y alarmas del proceso.

Capítulo 7: Análisis de Resultados

Se analizan los resultados obtenidos bajo las especificaciones planteadas.

Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente, se muestran las conclusiones generadas y las recomendaciones que se deben tomar en cuenta en trabajos futuros.

Capítulo 2

Marco referencial

Introducción

A continuación, se realiza un estudio general de los procesos automatizados en la industria que toma un enfoque en los sistemas de bajo presupuesto y alternativas tecnológicas hoy disponibles.

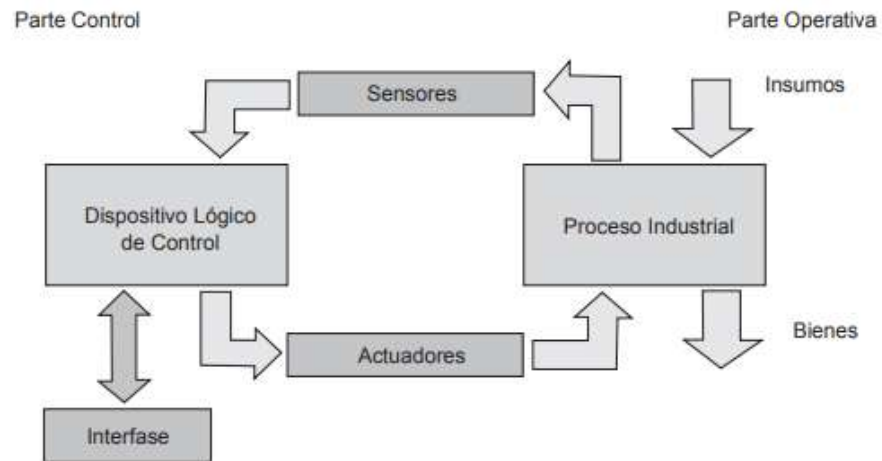
Dentro del capítulo se incluye un estudio de los tipos de sistemas de llenado, tapado y sellado que son utilizados en la industria y permiten tener un punto de partida al momento de realizar la implementación física del sistema.

Procesos y Sistemas Automatizados

La automatización de los procesos industriales se puede entender como una actividad tecnológica que busca sustituir, en una actividad determinada, al operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos (Morillo, 2015). El modelo estructural general de las soluciones de automatización es similar al de la figura 1, en la cual se muestra que para la correcta automatización del proceso es necesario: a) comprender el proceso productivo en detalle, b) definir las variables del proceso por medir y controlar, y c) definir la tecnología de control que se encargará de capturar, procesar y manipular las señales desde los sensores y actuadores. Además, el dispositivo lógico de control debe poseer capacidades de comunicación y diálogo con otras unidades u operarios (Morillo, 2015).

Figura 1.

Modelo de estructura de la automatización de procesos.



Nota. Adaptado de Automatización de pequeña escala con Open Hardware (p,2), por Morillo, D. Tomado de Tecnología en marcha.

La implementación del dispositivo lógico de control se puede realizar con varias tecnologías, entre ellas los circuitos de relés, circuitos operacionales, circuitos digitales no programables, programables, etc. A nivel industrial y comercial, los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés) constituyen la tecnología dominante. (Morillo, 2015).

Actualmente existen dispositivos lógicos programables de bajo coste, los cuales, dependiendo de la aplicación podrían utilizarse sin ningún problema, al garantizar un adecuado funcionamiento, bajo ciertas condiciones ambientales y de trabajo.

La Automatización inteligente de bajo costo (LCIA) es, como su nombre lo sugiere, una forma de automatización rentable. La LCIA requiere de una inversión

típicamente alrededor de un 80% a un 90 % menor que los procesos de producción integrales automáticos, pero proporciona un nivel similar de eficiencia (Item.es, 2020).

Al tener en cuenta que este proyecto será un prototipo automatizado, se considera el uso de hardware abierto de bajo coste.

La Plataforma Arduino y Hardware Alternativo

Si bien es cierto, existen muchas plataformas de desarrollo de hardware abierto. Así, las tarjetas electrónicas conocidas como Arduino (placa basada en el microcontrolador ATMEL), se han convertido en el ambiente de prototipado más usado a nivel global (Leung, 2015), por su costo, su variada oferta de controladores, accesorios y su forma de programación basada en C con múltiples bibliotecas de código abierto, aunado a su capacidad de procesamiento.

Las características que estos dispositivos ofrecen, han puesto en tela de duda su competencia, al momento de querer ser utilizados en proyectos que requieren cierto nivel de confiabilidad, ya que son conocidos como dispositivos didácticos y trabajan como entornos de desarrollo, dejando a un lado sus características altamente computacionales.

Pese a estas consideraciones, por su facilidad de uso y versatilidad, la utilización inminente de estos dispositivos ha ido incrementando día tras día. A nivel industrial ya aparecen casos exitosos reportados, como el proyecto de máquina que realiza el montaje a presión de tres piezas, mediante un pistón neumático (Espai, 2018), la actualización de una máquina termo-formadora Maac con Arduino cuyas tarjetas obsoletas no están disponibles en el mercado (Maac, 2019). Así mismo, el control o monitoreo a través de internet usando el Arduino Yun y las bibliotecas de Temboo (Temboo, 2013), que permiten publicar en tiempo real datos en Facebook,

Twitter o tablas de datos y curvas en Plotly (Plotly es una herramienta científica basada en la WEB, para importar datos y genera gráficas de tendencias, líneas de ajuste, gráficas de barra, etc.). Otra tendencia marcada para la utilización de los Arduinos consiste en realizar la adquisición de datos y el pre-procesamiento en el sitio, con enlaces inalámbricos a otros dispositivos, sin embargo, para esto se requiere mayor potencia de procesamiento. En este sentido, Intel incursiona desarrollando el Arduino llamado Galileo (Arduino, 2014c), que tiene un procesador Intel de 32 bit, que corre a 400 MHz, con 256 Mega Byte de memoria de trabajo, redes Ethernet de 100 Mbits, mini-PCI y memory card de 32 Giga bytes, capacidades de sobra suficientes para realizar labores de automatización, adquisición y pre procesamiento de datos, etc.

Arduino cada vez se está implantando más y más en la industria y no solo como una herramienta de prototipado, sino que los sistemas de control (autómatas) se están abriendo cada vez más. Algunos ejemplos de uso de Arduino se muestran a continuación:

- SIMATIC IOT2020: “Gateway” de Siemens basado en Arduino para futuras aplicaciones (Siemens IOT, 2020) con aplicaciones orientadas a la industria (Rs, 2019).
- ABB PM556, un autómata de ABB abierto compatible con Arduino (ABB, 2019).

Como se expone, existe una gran variedad de proyectos con diferentes aplicaciones en distintas ramas y la elección de la placa Arduino es una alternativa viable para cubrir las necesidades del proyecto.

Al momento de plantear el uso de una placa, es conveniente determinar el tipo de proyecto que se va a implementar. Esto da una idea de la cantidad de pines analógicos y digitales (normales y de tipo PWM), necesarios para desarrollar el proyecto.

Se puede deducir el tamaño de código que se va a generar en el "sketch". Un programa muy largo, con muchas constantes y variables demanda una cantidad mayor de memoria flash para su almacenamiento, por lo que se debe elegir una placa con la capacidad adecuada.

Este primer escrutinio permite descartar algunas placas simples que no tengan suficientes pines o, al contrario, descartar las de mayor número de ellos para reducir los costes y el sobredimensionamiento de la placa, en el proyecto.

Otro aspecto importante a considerar es la memoria RAM, la cual va ligada al microcontrolador, puesto que ambos afectarán a la agilidad de procesamiento del dispositivo.

De igual manera la capacidad en bits del controlador va a estar relacionado con el tipo de información se va a manejar (existen de 8 y 32 bits) basados en ATmega AVR y los SMART basados en ARM de 32 bits, con un rendimiento superior.

Soluciones Arduino industriales robustas

Dadas algunas debilidades de hardware que se le señalan al Arduino, han ido apareciendo versiones de hardware con características mejoradas y robustas, pensadas para ambientes más hostiles.

Tal es el caso de Ruggeduino (Rugged Circuits, 2018), que incorpora protección para todas las entradas y montaje para riel DIN. Este consiste en un PLC Arduino, que dispone de shield (tarjeta de expansión) para Arduino Uno, en el que las

entradas son opto-acopladas para señales de 24 voltios DC, salidas a relé, puertos de comunicación RS 485 y Ethernet (Biemme-Italia, 2019); y el “Industrino”, con carcasa para riel DIN, pensado para la automatización domótica (Ainura L., 2018).

En base a la demanda de proyectos realizados a partir de las tarjetas de bajo costo, surge la necesidad de crear tarjetas basadas en el mismo funcionamiento y en el mismo entorno de desarrollo, pero con funcionalidades robustas que de cierta forma generen una mayor confiabilidad en el usuario.

Automatización orientada a equipos de dosificación

Una máquina de envasado de líquidos es un tipo de máquina esencial en la industria, que está dotada de un alto nivel de precisión de acuerdo a la aplicación y los requerimientos del proceso (Infaimon, 2018).

En base a las necesidades de la industria, con el fin de aumentar la productividad se han desarrollado diferentes soluciones de maquinaria para envasado y sellado, orientados en diferentes tipos de tecnología (Infaimon, 2018).

Las envasadoras con las que se llena los envases primarios de líquidos se las puede dividir, en varias categorías según su estructura, según su forma de trabajo, según la producción deseada y según el producto que va a ser envasado (Cortés, 2017).

A nivel empresarial, la producción es fundamental y a la hora de requerir grandes volúmenes de producción la primera opción se inclina por las llenadoras rotativas frente a las lineales. El motivo es muy sencillo y aunque en cualquier producción es posible conseguir la cantidad deseada de producto, dependiendo del número de grifos, la llenadora rotativa tiene una ventaja, en cuanto a la producción,

frente a la lineal y es que, con igual número de grifos, no existen tiempos muertos de espera mientras se van los envases llenos y entran los vacíos (Cortés, 2017).

Un aspecto importante que se considera en un proceso de llenado, es el envase que se desea utilizar, al considerar los aspectos ergonómicos. Estos facilitarán o dificultarán el envasado.

Según el tipo de producto, la forma del envase está más condicionada por su función física, estética, expresiva o simbólica. Aunque el envase debería ser un simple contenedor de producto, todos los factores antes expuestos deben ser tomados en cuenta dentro del proceso.

Si se analiza la forma, el tamaño de la boca y elementos que forman parte del envase, estas características podrían declinar en la elección entre un proceso con máquina de envasado lineal y rotativa, ya que resulta más fácil llenar cualquier contenedor en una máquina lineal porque los ajustes de ancho y altura son más flexibles que en máquinas rotativas.

Otro factor determinante dentro de los procesos de llenado, corresponde al tipo de producto a envasar. Productos tales como: alimenticios, corrosivos, deflagrantes, espumantes. Donde cada uno de ellos tendrá sus características propias de viscosidad, densidad, etc., que caracterizarán el proceso.

Métodos de Envasado de productos líquidos

Por Gravedad

Este es uno de los métodos más tradicionales, ya que no requiere de la ayuda de ningún elemento externo para que se produzca el llenado (Cortés, 2017).

Por Bomba

En este modo de actuación se encuentra una ayuda externa que fuerza el paso del producto, este método se emplea principalmente para productos densos (Cortés, 2017).

Por Pistones

Al igual que el modelo anterior es necesario trabajar con elementos externos para forzar el paso del producto. En este caso el movimiento se lo realiza mediante la carga y la descarga del producto en dosis iguales (Cortés, 2017).

Por medición de Caudal

Este tipo de llenado se lo emplea cuando se desea conseguir mucha precisión a la hora de envasar. Existen muchas variantes de caudalímetros como son los máxicos, los electromagnéticos, etc. (Cortés, 2017).

Por presión o por vacío

Este tipo de envasado permite tener un control de nivel de envasado al controlar, por soplado o aspirado, la presión que se tiene dentro del envase (Cortés, 2017).

Tipos de envasadoras por su capacidad de producción

Los tres tipos de envasadoras más utilizadas se describen a continuación:

Envasadoras de baja capacidad

Son conocidas de este modo debido a que su producción por hora es reducida al poseer un control manual de operación.

Este tipo de máquinas son muy utilizadas por microempresas que tienen pequeños lotes de producción y que buscan mejorar su proceso con equipos sencillos y económicos (Páez, 2011).

Figura 2.

Envasadora de baja capacidad manual.



Nota. Adaptado de Envasadora manual, por (equitek, 2018). Tomado de <https://equitek.com.mx/envasadora-dnl/>

Envasadoras Lineales

Estas máquinas logran velocidades de producción moderadas siendo muy prácticas, ya que no requieren de piezas o accesorios para realizar cambios de formato de presentación. Operan de forma automática, brindando un proceso eficiente y confiable.

Son utilizadas en plantas embotelladoras de mediana producción. Se las puede clasificar dependiendo del método que utiliza para el envasado. Al igual que los sistemas de baja producción utilizan los mismos principios de funcionamiento, pero con mejor tecnología de procesos (Dositec, 2018).

Figura 3.

Envasadora lineal automática DNL.



Nota. Adaptada de Envasadora lineal automática, por (equitek, 2018). Tomada de <https://equitek.com.mx/ensasadora-dnl/>

Envasadoras Rotativas

Las máquinas de envasado rotativo están diseñadas para conseguir grandes lotes de producción y trabajan a grandes velocidades, dependiendo del número de boquillas de envasado de la máquina.

La frecuencia de trabajo de este tipo de máquina es muy alta, debido a que la máquina no puede detenerse al momento de envasar, como es normal en las envasadoras de tipo lineal (CORMAQ, 2015).

Figura 4.

Envasadora rotativa automática DNR.



Nota. Adaptada de Envasadora lineal automática, por (equitek, 2018). Tomada de <https://equitek.com.mx/ensadora-dnl/>

Automatización en procesos de tapado y sellado de producto

Existen diferentes alternativas para conseguir colocar y ajustar las tapas de un producto, dependiendo de la aplicación. A continuación, se muestra la evolución que ha tenido este tipo de procesos en la industria.

Tapadoras Manuales

Con cabezal para tapas con rosca

Adecuado para botellas y frascos que llevan tapas de plástico pre roscados, cuenta con un control de torque regulable para el apriete (Simag Industrial Perú S.A., 2019).

Después de lograr el apriete necesario, la máquina se apaga automáticamente, evitando así deterioros en la tapa y desgaste del cabezal tapador.

Puede tapar roscas planas de 10 a 50 mm de diámetro (Simag Industrial Perú S.A., 2019).

Figura 5.*Tapadora manual XK-CI*

Nota. Adaptada de Tapadoras de botellas y frascos, por (Simag Industrial Perú S.A., 2019). Tomada de <http://www.simagindustrialperu.com/maquinas-tapadoras>

Tapadoras Semiautomáticas**Con cabezal para tapas con rosca**

Son adecuados para botellas y frascos que llevan tapas de plástico o metálico pre roscado.

El modelo se puede elegir según las dimensiones del envase a tapar y la forma de la tapa.

Su modo de uso comprende en colocar la botella con la tapa puesta sobre el soporte de la máquina, posteriormente el soporte subirá o el cabezal tapador, bajará (según el modelo) hasta que este último haga contacto con la tapa.

Con la adecuada presión vertical y torque giratorio, se logra un cierre hermético, en botellas y frascos.

El tipo de tapas que utiliza son: rosca plana, tapa spray, tapas atomizador, twist-off, etc.

Figura 6

Tapadoras semiautomáticas DDX-450 Y YL-P.



Nota. Adaptada de Tapadoras de botellas y frascos, por (Simag Industrial Perú S.A., 2019). Tomada de <http://www.simagindustrialperu.com/maquinas-tapadoras>

Con cabezal para tapas sin rosca

Este tipo de tapadoras están diseñadas para roscar y sellar herméticamente tapas de aluminio sobre la botella principalmente de vidrio.

El proceso de tapado consiste en colocar la botella con la tapa puesta sobre el soporte de la máquina, posteriormente el soporte subirá hasta que el cabezal tapador haga contacto con la tapa de aluminio.

Con la presión adecuada del bloque vertical y los topes laterales, se logra un cierre hermético, rosca perfecta y precinto seguro en botellas de vidrio, plástico y garrafas (Simag Industrial Perú S.A., 2019).

Con cabezal para tapas viales

Es adecuado para tapas de aluminio, utilizado para envases de penicilina, al lograr un precinto y sello hermético.

El proceso de tapado consiste en colocar la capsula con la tapa puesta sobre el soporte de la máquina, posteriormente bajar la palanca hasta que el cabezal tapador haga contacto y presión con la tapa de aluminio (Simag Industrial Perú S.A., 2019).

Tapadoras Automáticas

Con cabezal para tapas con rosca

Están diseñados para botellas y frascos que llevan tapas de plástico o metálico con rosca ya sea redondos e irregulares.

El modelo puede ser elegido según las dimensiones del envase a tapar y la forma de la tapa.

La máquina dispone de un transportador de velocidad variable que desplaza los envases hasta la zona de encuentro con la tapa. Por otra parte, la máquina retira y orienta las tapas procedentes de una tolva de distribución y coloca sobre la boca del envase (puesta al robo o Pick & Place).

Después ambos son desplazados hasta la zona de tapado donde el cabezal realiza el cierre hermético del envase.

Culminado el proceso de tapado, los envases son retirados mediante la faja transportadora, y a la vez se introducen nuevos envases repitiéndose el proceso (Simag Industrial Perú S.A., 2019).

Figura 7.

Tapadora lineal automática qdx-1 para tapas redondos planos.



Nota. Adaptada de Tapadoras de botellas y frascos, por (Simag Industrial Perú S.A., 2019). Tomada de <http://www.simagindustrialperu.com/maquinas-tapadoras>

Sistema de Instrumentación

Dentro del prototipo automatizado, existen elementos que permiten medir magnitudes físicas o químicas, y las convierten en magnitudes eléctricas para ser transmitidas hacia el controlador o interfaces.

La definición del concepto de sensor está íntimamente relacionada con la definición de transductor, ya que un sensor siempre estará acompañado por éste último. No obstante, la principal diferencia entre un transductor y un sensor radica en que el sensor no solo cambia el dominio de la variable física medida, sino que además la salida del sensor será un dato útil para un sistema de medición. De este modo, un

sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida (Corona, 2014).

Hoy en día, los sensores entregan señales eléctricas a la salida, ya sean analógicas o digitales, debido a que este tipo de dominio físico es el más utilizado en los sistemas de medida actuales (Corona, 2014).

Los sensores pueden clasificarse de muchas formas distintas, pero las más comunes son por el tipo de variable a medir o por el principio de transducción utilizado.

Para este estudio, se hace uso de la clasificación de sensores de acuerdo al tipo de variable a medir.

Este tipo de clasificación puede provocar cierta confusión, ya que un mismo sensor puede ser utilizado para la medición de distintas variables físicas; por ejemplo, un sensor ultrasónico resulta muy útil si se desea medir proximidad, el nivel de un líquido, la presencia de un objeto, la velocidad de un fluido, etcétera. No obstante, su principio de funcionamiento siempre es el mismo, y solo depende el tipo de configuración que se coloque y como se interprete la señal del mismo (Corona, 2014). De aquí en adelante en este proyecto se hace referencia al tipo de sensor dependiendo de qué tipo de variable física este midiendo.

Figura 8.

Clasificación de los sensores según la variable física a medir.

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

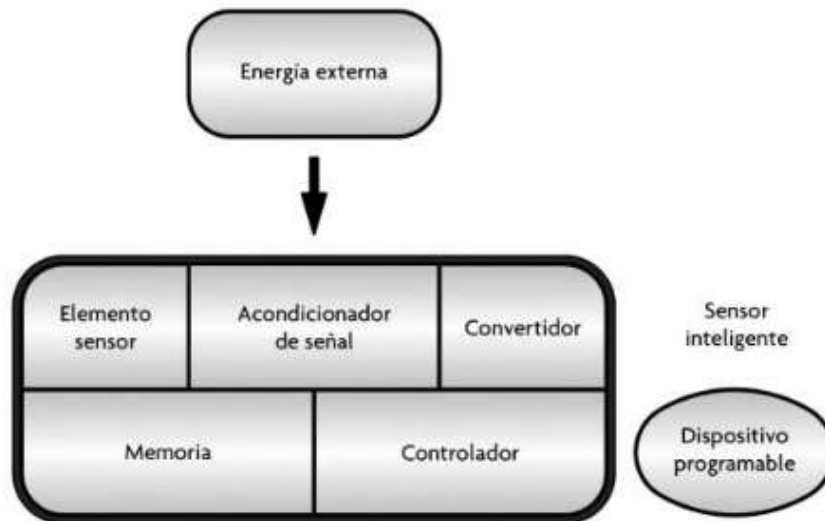
Sensores Inteligentes

La tendencia de la electrónica ha sido la reducción de tamaño y la minimización de costos; esto implica la creación de tecnología cada vez más integrada, con una disminución considerable en el número de elementos discretos, que en conjunto logren una función específica, ya que la interacción de muchos elementos discretos requiere de un mayor número de interconexiones, al provocar que las placas de circuitos impresos se hagan más complejas y más costosas debido a la dificultad del ensamble (Corona, 2014).

Los sensores inteligentes aparecen bajo la premisa de mayor practicidad para el diseño de sistemas más complejos, ya que un solo elemento integra funciones que antes requerían de varios dispositivos discretos; en ocasiones dependiendo de la escala de integración que tenga el sensor inteligente, dichas funciones se logran en un solo chip o en una sola tarjeta embebida (Corona, 2014).

Figura 9.

Diagrama de un sensor inteligente.



Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

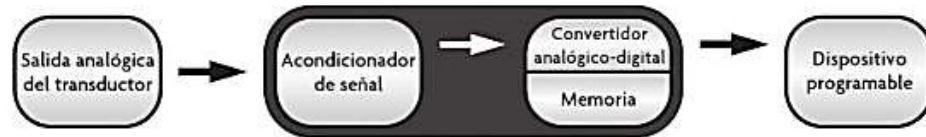
El término sensor inteligente fue propuesto por primera vez a mediados de la década de 1980. Debido a que este término no ha sido aceptado ampliamente, la IEEE se dio a la tarea de definir a los sensores inteligentes en su estándar 1452.1, como "aquel sensor que provee funciones más allá de las necesarias para generar una correcta representación de una cantidad sensada o controlada (Corona, 2014).

En la actualidad existen diferentes configuraciones de sensores inteligentes, dependiendo del modo de integración.

A continuación, se muestra un modo de integración baja, ya que los dispositivos discretos se incorporan en un mismo circuito impreso y el usuario final tiene acceso a este tipo de sensores en forma de tarjetas acondicionadas (Corona, 2014).

Figura 10.

Primer modo de integración de un sensor inteligente.



Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Los sistemas automatizados disponen de diferentes sensores digitales inteligentes que simplifican el trabajo al momento de acondicionar la señal e implementar un sistema, independientemente de la variable a medir.

A continuación, se hace el estudio de sensores que podrían ser utilizados en el proceso. Al considerar, además, el resto de etapas que intervienen dentro del sistema.

Sensores de caudal

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales, en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases. Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal de masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante (Solé, 2010).

Figura 11.

Sensores de caudal MAGFLOW con IO-LINK.



Nota. Adaptado de Sensores de caudal Magflow con IO-Link, por (infoPLC, 2019) Tomada de <https://www.infopl.net/noticias/item/104692-ifm-sensores-caudal-magflow-io-link>.

Sensores de peso

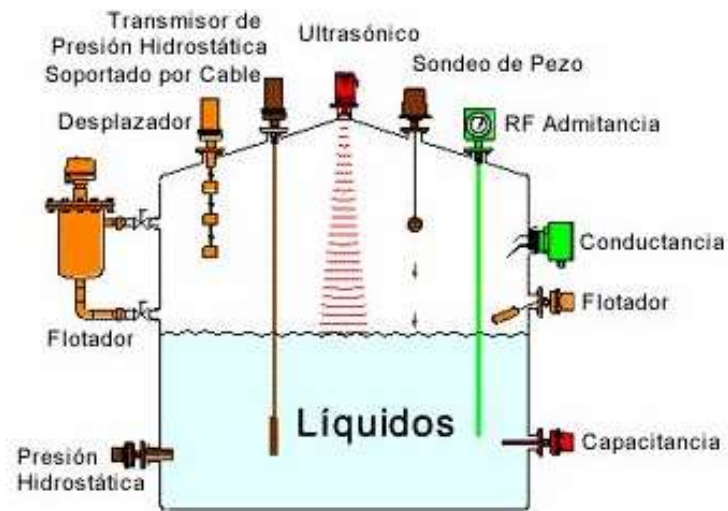
Los sensores de peso (células de carga) son versiones especiales de transductores de fuerza para su uso en la tecnología de pesaje y dosificación. Se calibran en gramos, kilogramos o toneladas y no en Newtons, como es habitual en la tecnología de medición de fuerza. Las galgas extensométricas integradas transforman las deformaciones elásticas de los sensores de peso causados por las cargas proporcionalmente en señales eléctricas (Metropein, 2019).

Figura 12.*Módulo de pesaje MT*

Nota. Adaptado de células de carga, módulos de pesaje y sensores de carga, por (Toledo, s.f.). Tomada de https://www.mt.com/es/es/home/products/Industrial_Weighing.

Sensores de Nivel

La medición de nivel es importante en la industria actual, desde el punto de vista de la operación correcta del proceso como de la consideración del control adecuado de materias primas o de productos finales. La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitudes en la lectura altas, del orden del $\pm 0,2\%$, en el inventario de materias primas, finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en rotación del tanque), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión (Solé, 2010).

Figura 13.*Sensores de nivel*

Nota. Adaptado de diseño de un sensor de niveles del líquido, por (De la Barrera Gonzalez, 2013).

Los sensores que se plantean usar en el proyecto, son sensores sin contacto y serán motivo de estudio.

Sensor de nivel ultrasónico sin contacto

En la medición de nivel sin contacto por ultrasonidos, el sensor emite impulsos de ultrasonidos en dirección al producto, que refleja dichos impulsos. El tiempo transcurrido desde la emisión de las señales hasta la recepción es proporcional al nivel en el depósito.

Los sensores de ultrasonidos son idóneos para aplicaciones estándar sencillas, tanto en líquidos como en sólidos (Vegason, 2018).

Figura 14.

Sensor de nivel ultrasónico.



Nota. Adaptado de medición de nivel con ultrasonidos, por (Vegason, 2018). Tomada de <https://www.vega.com/es-es/productos>.

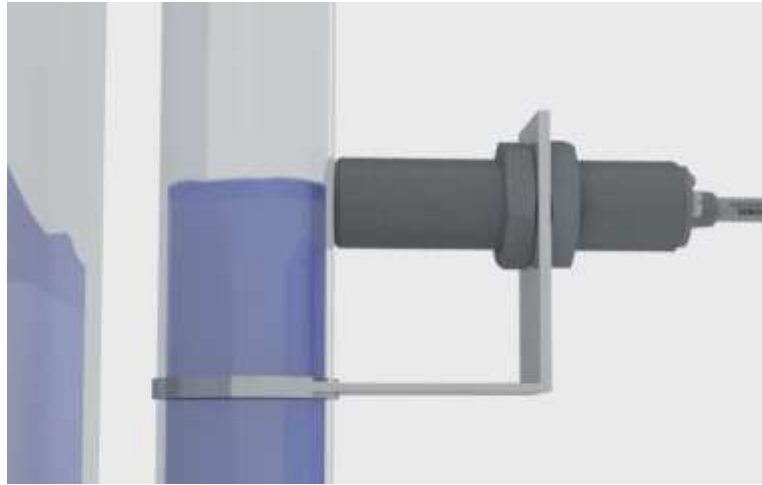
Sensor de nivel por capacitancia

Al igual que los sensores ultrasónicos, los sensores por capacitancia pueden manejar medición de nivel puntual o continuo. Usan una sonda para monitorear los cambios de nivel de líquido en el tanque, acondicionando electrónicamente la salida a valores capacitivos y resistivos, que se convierten en señales analógicas. La sonda y el recipiente equivaldrán a las dos placas de un capacitor, y el líquido equivaldrá al medio dieléctrico. Debido a que la señal emana solo de cambios de nivel, la acumulación de material en la sonda no tiene efecto. Los recipientes de fluido no conductor pueden indicar sondas dobles o una banda conductora externa (Solé, 2010).

Figura 15.*Sensor de nivel capacitivo*

Nota. Sensor de nivel capacitivo, por (Hauser, 2018) .Tomada de <http://www.interempresas.net/Medicion/>

La sonda, que puede ser rígida o flexible, normalmente usa alambre conductor con aislamiento. El uso de acero inoxidable como material de la sonda ofrece la sensibilidad adicional que se necesita para medir líquidos que son no conductores, granulares, o de propiedades dieléctricas bajas (constante dieléctrica menor de 4). Se deben usar sondas flexibles cuando no hay suficiente espacio libre para una sonda rígida, o en aplicaciones que exigen longitudes muy grandes. Las sondas rígidas ofrecen estabilidad más alta, especialmente en sistemas turbulentos, donde la oscilación de la sonda puede causar fluctuaciones en la señal (Solé, 2010).

Figura 16 .*Sensor capacitivo sin contacto*

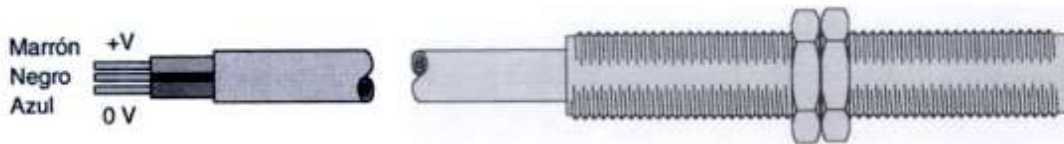
Nota. Sensor de nivel capacitivo, por (Hauser, 2018) .Tomada de <http://www.interempresas.net/Medicion/>

Una aplicación para los sensores de proximidad capacitivos es la detección de nivel a través de barreras. Por ejemplo, el agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta que el plástico.

Esto le da al sensor la habilidad de “ver detrás” del plástico y detectar el líquido.

Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad son ampliamente usados en aplicaciones de automoción y pueden ser tanto de tipo inductivo como capacitivo. La forma más común consiste en un espárrago roscado que contiene el sensor en uno de sus extremos y el circuito procesador de la señal del circuito impreso. La salida de la conexión viene dada por un transistor PNP o NPN (John Hyde, 1997).

Figura 17.*Sensor de proximidad*

Nota. Sensor de proximidad, por (John Hyde, 1997).

Sensores Inductivos

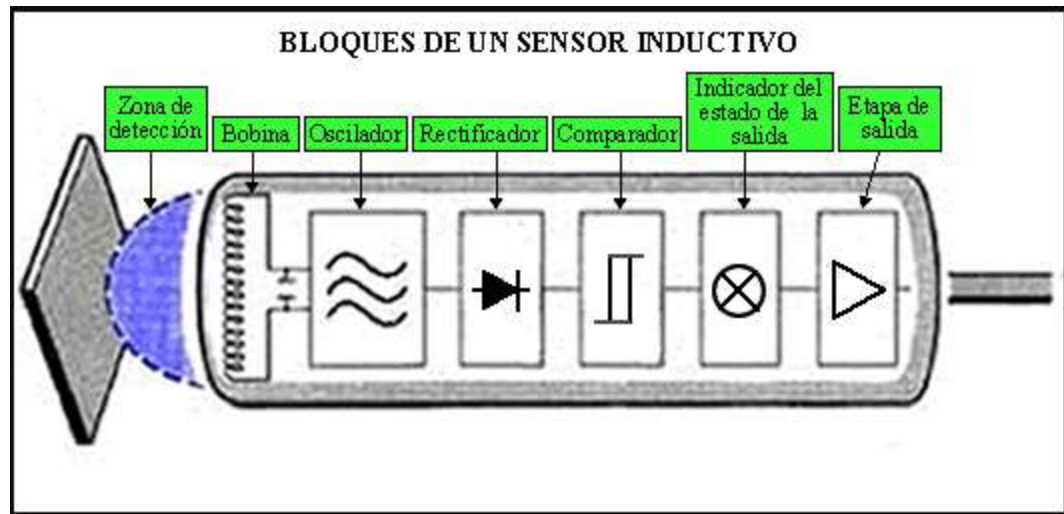
Un sensor inductivo utiliza un oscilador para enviar un campo electromagnético de alta frecuencia y de corto alcance desde el extremo de la unidad. Si un objeto de metal conductor entra en su alcance, se inducen corrientes parásitas en el metal, las cuales reaccionan para cambiar el voltaje en el oscilador. Esto es detectado y amplificado para encender el transistor de salida. La distancia de detección puede ir de 0.5 a 20 mm, dependiendo del modelo seleccionado (John Hyde, 1997).

Basan su actuación en la detección de un campo magnético. Al aproximar una pieza metálica a un campo magnético generado por una bobina sometida a una tensión alterna de alta frecuencia, se crean en él unas corrientes parásitas (de Foucault) que aumentan según se acerca a la bobina. Estas corrientes generan a su vez un campo magnético que se opone al producido por el generador, disminuyendo la tensión existente en la bobina al aumentar su reactancia.

Al detectar variaciones de campo magnético, si se alimentan con tensiones continuas, sólo detectarían objetos en movimiento. Esto se solventa utilizando tensiones alternas de alta frecuencia o, lo que es lo mismo, con campos variables, con lo que el sensor puede detectar el objeto, aunque éste se haya detenido.

Figura 18.

Bloques de un sensor inductivo.



Nota. Sensor de nivel capacitivo, por (Hauser, 2018) .Tomada de <http://www.interempresas.net/Medicion/>

Los materiales más fácilmente detectables serán los que tengan una permeabilidad magnética alta.

Los materiales ferromagnéticos (Fe, Ni, Co y sus aleaciones) poseen permeabilidad magnética mucho mayor a la unidad, por lo que serán fácilmente detectables.

Los materiales paramagnéticos (con una permeabilidad magnética igual a la unidad) pueden ser detectados, aunque la distancia de detección es más pequeña (Al, Pt).

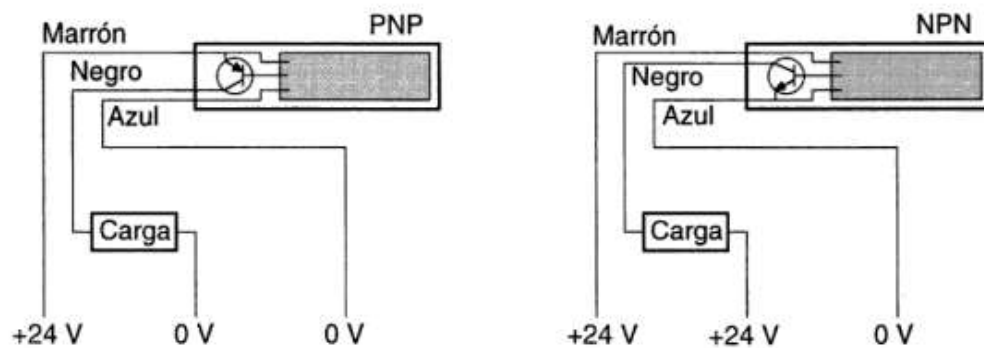
Los materiales diamagnéticos absorben escaso flujo magnético y por tanto no serán detectados (porcelana, vidrio).

Sensores Capacitivos

Los sensores capacitivos constan de una placa capacitiva en su extremo. La carga en esta placa es susceptible de ser modificada por cualquier objeto que se mueva en su alcance. La distancia de detección puede ser ajustada dependiendo del material a percibir mediante un potenciómetro integrado. Este tipo de sensores son ideales para materiales no metálicos tales como el vidrio, plástico, madera o fluidos (John Hyde, 1997).

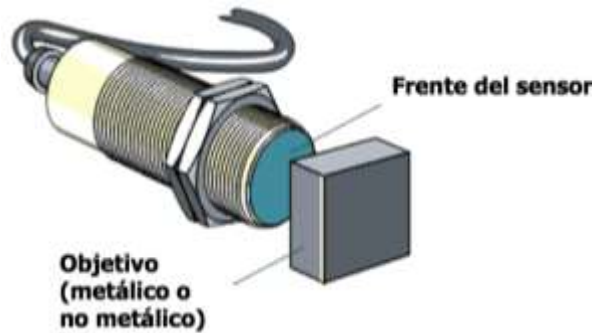
Figura 19.

Configuración de sensores PNP, NPN



Nota. Sensores capacitivos, por (John Hyde, 1997).

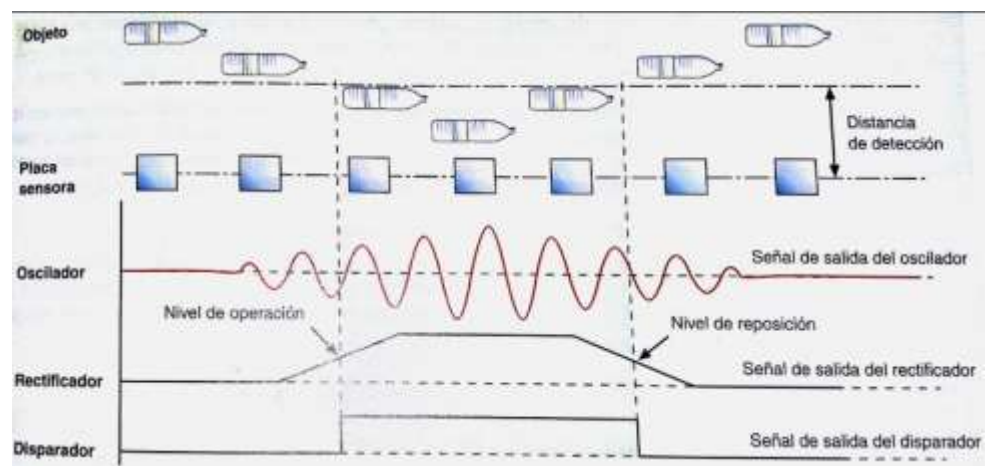
El cableado de la carga dependerá del tipo de transistor de salida escogido. El más usual es el PNP. Éste tiene el comportamiento de un detector convencional: cuando está encendido proporciona corriente a la carga.

Figura 20.*Sensor capacitivo*

Nota. Sensor de nivel capacitivo, por (Hauser, 2018) .Tomada de <http://www.interempresas.net/Medicion/>

Al igual que ocurre con los detectores inductivos, los capacitivos se alimentan con tensiones alternas para poder detectar objetos que estén quietos.

Cuando se aproxima un objeto a la placa, la capacidad aumenta, con lo que disminuye la reactancia, elevándose progresivamente la intensidad suministrada por el oscilador hasta que se activa la respuesta del disparador (Weg, 2016).

Figura 21.*Funcionamiento del sensor capacitivo*

Nota. Sensor de nivel capacitivo, por (Hauser, 2018) .Tomada de <http://www.interempresas.net/Medicion/>

Existen captadores capacitivos diseñados para detectar tanto objetos metálicos como no metálicos.

Tipo 1. Detector de metales

El objeto a detectar constituye la segunda armadura o placa. Una de las armaduras o placas está fija recibiendo alimentación del circuito oscilador, mientras que la móvil u objeto a detectar está conectada a masa. Cuando el objeto a detectar está lejos del electrodo fijo, la capacidad es muy pequeña, aumentando considerablemente cuando éste se acerca al electrodo fijo.

Tipo 2. Detector de no metales

En este tipo de captadores, las dos armaduras son fijas y el objeto, al acercarse hace variar la capacidad original del captador. En este caso, la densidad y constante dieléctrica del elemento a detectar debe ser lo suficientemente grande como para que la variación producida sea lo suficientemente grande y pueda ser detectada. Se puede utilizar para detectar tanto sólidos como líquidos.

Sensores Fotoeléctricos

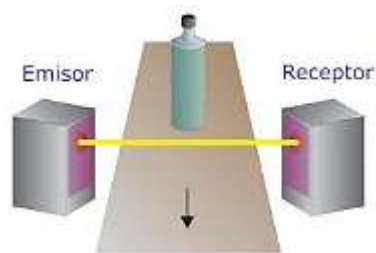
Los sensores fotoeléctricos se basan en detectar un objeto que interrumpe o refleja un haz de luz. Disponen de un amplio rango de distancias de detección desde muy cortas (milímetros) hasta metros (Cerdá Feliu, 2018).

Figura 22.*Sensores fotoeléctricos*

Nota. Sensores de proximidad, por (Cerdá Feliu, 2018) .Tomada de Automatismos y electrónica.

El sistema de detección consiste en crear una barrera de luz mediante un haz. Consta de un emisor, que es el encargado de generar y emitir el rayo de luz, y de un elemento receptor, que es el encargado de recibir este rayo de luz (Cerdá Feliu, 2018).

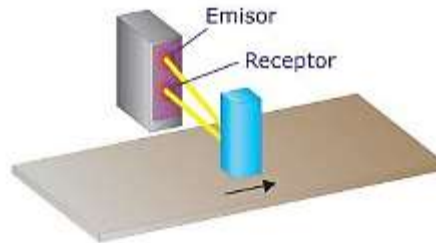
Hay dos sistemas de detección: el sistema por bloqueo de haz (el receptor detecta el corte del haz) y el sistema por retorno de haz o réflex (el receptor detecta la incidencia del haz de luz) (Cerdá Feliu, 2018).

Figura 23.*Sensores fotoeléctricos por bloqueo de haz.*

Nota. Sensores de proximidad, por (Cerdá Feliu, 2018) .Tomada de Automatismos y electrónica.

Figura 24.

Sensores fotoeléctricos por retorno de haz.



Nota. Sensores de proximidad, por (Cerdá Feliu, 2018) .Tomada de Automatismos y electrónica.

A continuación, se trata los actuadores utilizados en el prototipo de automatización, que en su mayor parte constituyen actuadores neumáticos y eléctricos.

Sistema Actuador**Actuadores Neumáticos**

Los actuadores neumáticos transforman la energía acumulada del aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento rotatorio o movimiento rectilíneo. Por lo común, estos se clasifican en cilindros o actuadores lineales y motores o actuadores de giro (Corona, 2014).

El principio de funcionamiento se basa en la energía mecánica que se puede obtener a partir del aire comprimido. Esto es, si se ejerce fuerza sobre el aire contenido en un recipiente cerrado, dicho aire se comprime forzando las paredes del recipiente y la presión que se produce puede aprovecharse para generar fuerza o desplazamiento sobre algún elemento mecánico (Corona, 2014).

Cilindros Neumáticos

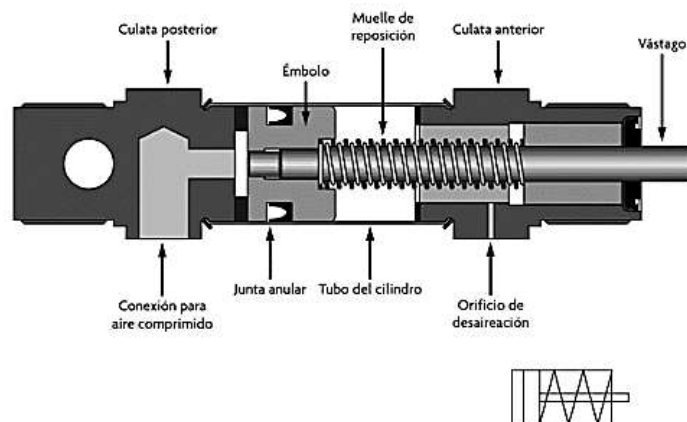
Los cilindros neumáticos se utilizan en general, para inducir un movimiento lineal de algunos elementos mecánicos, los cuales conforman un sistema integral en el que confluyen e interactúan diversos dispositivos con la finalidad de automatizar algún tipo de proceso. Existen dos tipos fundamentales de cilindros neumáticos, que son de simple y doble efecto, de los cuales se derivan otros modelos con construcciones especiales. Estos cilindros, independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos (Corona, 2014).

Cilindro de simple efecto

Consiste en una entrada de alimentación de aire comprimido a una cámara hermética, lo cual provoca un movimiento rectilíneo en un solo sentido de un elemento móvil, conocido como vástago, el cual es el responsable de desarrollar el trabajo necesario (Corona, 2014).

Figura 25.

Cilindro de simple efecto.



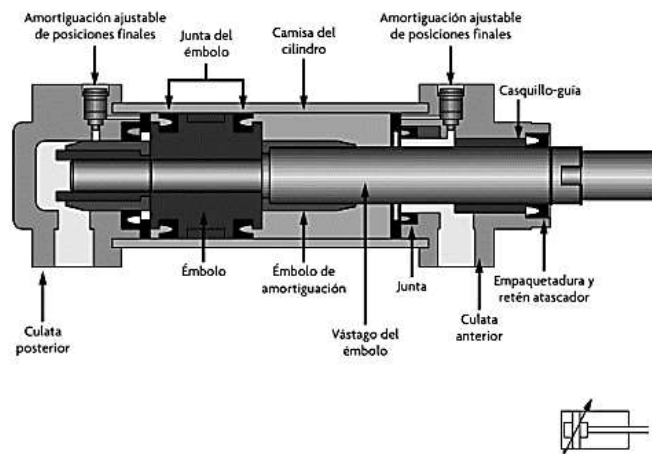
Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Cilindro de doble efecto

Se compone de dos entradas de alimentación de aire comprimido, cada una colocada en el extremo de la cámara hermética, fabricada de tal manera que esta provoca un movimiento rectilíneo en dos sentidos al vástago del actuador, el cual se encarga de realizar tanto un trabajo de salida como uno de retroceso (Corona, 2014).

Figura 26 .

Cilindro de doble efecto



Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

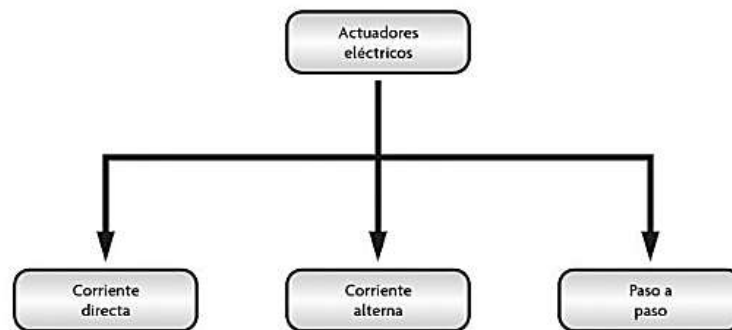
Actuadores Eléctricos

Los actuadores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, ya sea rotacional o lineal. De los actuadores disponible en el mercado, estos son los que se usan con mayor frecuencia, ya que su fuente de alimentación es la energía eléctrica; por su parte, los actuadores que son alimentados con energía neumática o hidráulica requieren compresores para la generación de la misma (Corona, 2014).

Por lo general, los actuadores eléctricos se clasifican de acuerdo con el tipo de energía eléctrica con la que son alimentados, por el tipo de movimiento que generan y por la forma de excitación, entre otros aspectos (Corona, 2014).

Figura 27.

Clasificación de los actuadores por el tipo de energía de alimentación.



Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

A continuación, se trata acerca de los actuadores eléctricos que están presentes dentro del prototipo automatizado.

Actuadores de corriente directa (CD)

Para su funcionamiento, los actuadores de corriente directa demandan un flujo eléctrico de corriente que circula en un solo sentido. Este tipo de actuadores se compone de dos partes fundamentales, conocidos comúnmente como rotor y estator. Una de las principales características de los actuadores de corriente directa radica en que al variar el voltaje de alimentación se puede modificar la velocidad del eje del actuador, ya que la velocidad de rotación de un motor DC es proporcional al voltaje,

además de que el par es proporcional a la corriente que circula en su devanado (Corona, 2014).

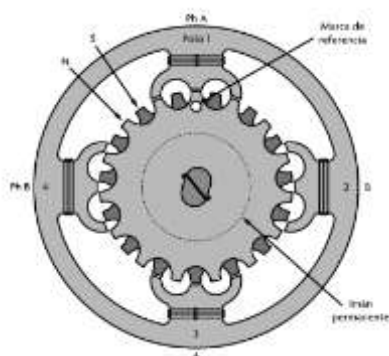
Motores paso a paso

El motor paso a paso funciona con el mismo principio físico fundamental de los actuadores de CD y CA, solo que este tipo de actuador electromecánico convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo cual implica que este es capaz de avanzar un determinado valor en grados (pasos) del eje motriz dependiendo de las entradas de control (Corona, 2014).

Se conocen como motores híbridos todos aquellos motores que combinan las características de los motores de imán permanente y de reluctancia variable. Una cualidad palpable de esta característica de hibridación es que este tipo de motores heredan las ventajas de cada uno de estos tipos de motores, los cuales se conjugan en un solo motor, lo que se ve reflejado en la obtención de ángulos pequeños de paso con un alto par.

Figura 28.

Motor paso a paso híbrido



Nota. Adaptado de Sensores y Actuadores, por (Corona, 2014). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Capítulo 3

Ingeniería conceptual y básica

Descripción de la planta y requerimientos técnicos del proyecto.

El diseño de la automatización para el prototipo automatizado de llenado y tapado de gel antibacterial de 75ml, debe contar con los siguientes requerimientos mínimos.

La operación del proceso es automática dentro de las estaciones de llenado y tapado de producto.

La intervención del operario es necesaria para la supervisión del proceso, la introducción de botellas vacías y el retiro de producto elaborado.

El sistema debe solventar las necesidades actuales de producción de la línea de llenado y tapado de producto, cumpliendo con al menos 200 unidades en una jornada de trabajo de 8 horas, cumpliendo un nivel de tolerancia de dosificado del $\pm 5\%$ y mejorando las perdidas por desperdicio de material en al menos un 60%, es decir 1.8L de ahorro de materia prima.

Se deben presentar alertas de tipo visual y sonoro, que permitan comunicar al operario la falta de materia prima, tanto en la estación de llenado como en la de colocación de tapas.

El prototipo desarrollado debe estar sujeto al presupuesto destinado para este proyecto (4000USD), que corresponde a costos de implementación y equipos necesarios para la puesta en funcionamiento, sin considerar costos por ingeniería de diseño y mano de obra por implementación del sistema.

Selección y análisis del tipo de prototipo a implementar

Existen dos alternativas para la elaboración estructural de sistemas de envasado automáticos: Sistema lineal y sistema rotario.

En base a las necesidades y factibilidad de construcción, se elige un sistema lineal para el tapado y sellado de producto, considerando el volumen de producción deseado (200 unidades diarias) y la facilidad del manejo del envase para el proceso planteado.

Las variables que van a estar relacionadas directamente con el proceso, se muestran a continuación:

Tabla 3.

Variables relacionadas con el prototipo automatizado.

	Equipo relacionado	Variable	Unidades
Material a dosificar (gel antibacterial)	Bomba para dosificación	Caudal	m ³ /s
		Densidad	Kg/m ³
Sistema de movimiento	banda de transporte	Velocidad	m/s
		potencia	W
		peso soportado	kg
Sistema de almacenamiento	Tanque de material a embazar	Diámetro del tanque	m
		Nivel del material	m
Sistema de colocación de tapas	Pistón de colocación	Fuerza	N
		presión	psi
	almacén de tapas	altura del almacén	m
		capacidad	u

	Equipo relacionado	Variable	Unidades
Sistema de sellado de tapas		Presión	psi
	Pistón de fijación	Fuerza	N
		distancia	m
		Fuerza	N
	Ajuste	Velocidad	Rad/s
		Presión	psi

Nota: Esta tabla muestra las variables que se encuentran relacionadas con el prototipo automatizado.

Ingeniería Conceptual para el Prototipo Automatizado

Requerimientos necesarios para el Esbozado y Construcción del Prototipo

El sistema físico permite cumplir con las tareas de producción planteadas por Bio-Comfy; como es el tapado y sellado de producto.

El prototipo automatizado se encarga de realizar acciones mecánicas de posicionamiento, para cumplir con las tareas específicas dentro del proceso de llenado y tapado de producto; como son: la dosificación adecuada del material, la colocación correcta y el ajuste de la tapa.

Cada tarea se ejecuta repetidamente, realizando el mismo trabajo, cumpliendo con los tiempos y especificaciones de cada etapa. Lo cual es calibrado de acuerdo a las pruebas realizadas.

El dimensionado físico lineal del proceso tiene 1.20m.

El prototipo está construido en acero inoxidable T304, en un 60% de su estructura, considerando las partes que están en contacto con el producto.

El esbozo y construcción del prototipo están realizados en escala real.

Viabilidad y disponibilidad técnica para el Esbozado y Construcción del Prototipo Automatizado

Viabilidad Técnica

El desarrollo e implementación total del prototipo automatizado para el llenado y tapado de gel antibacterial de 75ml, es viable debido al análisis técnico mostrado a continuación:

La creación del bosquejo del sistema estructural es realizable con la utilización de un software de diseño por computador, disponible para prototipado, como: ***AutoCAD 3D, Solidworks, Autodesk Inventor***, etc.

Existe la tecnología disponible para crear los diferentes componentes que son necesarios para construir el prototipo. A continuación, se enlista un conjunto de máquinas y herramientas necesarias para construir los componentes físicos estructurales del sistema, como: cortadora láser de precisión para acero inoxidable, soldadoras para trabajos mecanizados de precisión (TIG, MIG), taladros, brocas para perforar acero inoxidable, dobladoras de metal, prensa de metal, torno, impresora 3D, cortadora laser para acrílicos, dobladora de acrílicos, pistola de calor, cierra manual, amoladora, discos de cortes, etc.

Existen máquinas con muy avanzada tecnología que desarrollan este tipo de procesos, por lo cual se puede hacer referencia a este tipo de mecanismos para realizar el desarrollo e implementación de la parte estructural, ajustados a las necesidades del cliente.

La construcción, montaje y acondicionamiento del sistema estructural es realizable con la ayuda técnica de especialistas en la rama, con las especificaciones

planteadas en los requerimientos, haciendo uso de materiales, máquinas y herramientas disponibles dentro de la industria de la metalmecánica.

Disponibilidad Técnica

Existe una gran variedad de software de diseño, con licencias para estudiantes, para desarrollar el prototipado del sistema. Lo cual permite efectuar el bosquejo sin la necesidad de obtener una licencia comercial.

Autodesk Inventor es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software **AutoDesk**. Este software es una excelente alternativa como herramienta de diseño para realizar el modelado del prototipo, ya que es amigable con el usuario y existe una amplia cantidad de información, manuales y soporte, para la utilización de esta herramienta.

Con respecto a los materiales con los cuales se desea construir el sistema, se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano, facilitando la construcción y acople de todos los componentes. Tal es el caso del acero inoxidable T-304, acrílico, nylon mecanizado, chumaceras, tornillos, etc.

Por otro lado, la maquinaria y herramientas necesarias para efectuar la construcción estructural del prototipo, se encuentran disponibles dentro de las empresas que facilitarán con el contingente profesional para la realización de este proyecto (Frigomaq Cía. Ltda. y Acrilux S.A).

Esquema y ubicación de las etapas en el prototipo

El proceso para el llenado y tapado, implica tres etapas muy bien definidas.

- Etapa de llenado y dosificación.
- Etapa de colocación de tapa.
- Etapa de ajuste.

Las etapas que debe contener el prototipo automatizado, se muestran a continuación en el siguiente esquema:

Figura 29.

Esquema y ubicación de etapas en el prototipo automatizado.



Ingeniería Conceptual para el Sistema de Instrumentación

Requerimientos necesarios para el sistema de instrumentación

La presencia de la botella en cada etapa, debe ser detectada con confiabilidad y en tiempos de respuesta rápidos para el proceso (en el orden de los milisegundos). Se toma en consideración que el material de las botellas, es plástico de politereftalato de etileno (PET), la cual se encuentra etiquetada previamente con la marca en adhesivo en su parte delantera y posterior.

Figura 30.

Envase para llenado de gel antibacterial 75 ml.



Dentro del proceso general, la acción determinante, es la dosificación del producto. Para la cual se hace uso de un sensor de nivel sin contacto con el material,

que permite comprobar el nivel de materia prima dentro del recipiente, en un tiempo de respuesta inferior a los 500 milisegundos, para obtener una respuesta rápida en el comportamiento y accionar del sistema.

Bajo el mismo principio se determinan los niveles de materia prima disponible en la reserva de material, tanto de gel antibacterial como de tapas. Lo ideal es, no entrar en contacto con los insumos que se encuentran dentro del proceso.

Los sensores que determinan el posicionamiento de la botella, requieren de un indicador visual que permita determinar su activación, con el fin de facilitar las pruebas de funcionamiento, las calibraciones del sistema y los mantenimientos correctivos.

Los fines de carrera utilizados en el posicionamiento de los elementos del sistema, deben ser resistentes al accionar del movimiento, ya que están en un constante uso dentro del proceso y ponen límite de accionamiento en movimientos lineales.

Dentro de las diferentes alternativas de instrumentación para la dosificación del producto se tiene:

Sensores de Caudal, sensores de peso y sensores por nivel.

En lo que respecta al sistema de instrumentación para la detección de objetos se tiene:

Sensores Inductivos, sensores capacitivos y sensores fotoeléctricos.

Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación

Viabilidad Técnica.

Existen diferentes técnicas y alternativas para la instrumentación del proceso, muchas de las cuales son utilizadas en la industria.

A continuación, se hace un análisis de la viabilidad técnica para los diferentes métodos de medición propuestos para la dosificación:

Sensor de caudal: El caudalímetro garantiza la supervisión fiable del agua y de las soluciones acuosas. Es especialmente apropiado para registrar pequeñas cantidades de caudal.

Registra tres variables del proceso: cantidad de caudal y volumen de consumo.

Un aspecto técnico a considerar es que este tipo de sensores están continuamente en contacto con el producto, para el caso de estudio se pretende suprimir en su mayoría a elementos que sean invasivos, o en el caso que lo requiera, sea de uso sanitario.

Sensor de peso: Se puede realizar la utilización de un módulo de pesaje, cuando el elemento a medir se encuentra fuera de la banda de transporte, ya que el peso de la banda, el movimiento y la fricción afectan el registro del valor, aún más cuando el peso registrado corresponde a cantidades pequeñas (gramos o miligramos). Otro aspecto técnico a considerar es el centro de gravedad del envase y su posicionamiento en el proceso.

Sensor de Nivel: Una de las alternativas, menos invasivas al momento de medir el nivel de un líquido son los sensores capacitivos de nivel, que poseen características de respuesta rápida y una precisión del $\pm 1.5\%$, su versatilidad para permitir realizar una medición de nivel sin contacto, lo hacen bastante atractivo para este proyecto.

Otra alternativa confiable no invasiva para medir nivel de un líquido son los sensores ultrasónicos, con la pequeña dificultad que no deben tener interferencia entre el líquido a medir y el dispositivo. Técnicamente esto dificulta la utilización de este tipo

de sensor en la dosificación, ya que no existe espacio disponible en la boca del envase para colocar un sensor que realice su operación en esas condiciones.

Por otra parte, la compatibilidad de los módulos de los sensores inteligentes disponibles en el mercado, no presenta limitantes, ya que permiten acoplarse al controlador independientemente del fabricante o del tipo de tecnología que se esté utilizando.

Disponibilidad Técnica

A continuación, se muestra en la tabla una comparativa de disponibilidad técnica entre las diferentes alternativas presentadas para la dosificación.

Tabla 4.

Tabla comparativa de disponibilidad técnica de sensores para la dosificación

Sensores	Invasivo	Disponibilidad	Especificaciones	Costos
Caudal	Si	Internacional	½ " - 8"	>= 470 USD
Peso	No	Nacional	Para montaje externo	>=100USD
Nivel	No	Nacional	Medidores sin contacto	>=33 USD

Nota: Esta tabla muestra los diferentes sensores que pueden ser utilizados para la dosificación de producto.

De acuerdo a la factibilidad y disponibilidad técnica de sensores para realizar la dosificación de producto, se hará uso de sensores de nivel sin contacto.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de las diferentes alternativas de tecnología disponible para la detección de objetos.

Tabla 5.

Materiales detectados por sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctricos.

Sensores	Material detectable	Material no detectable	Costos
Inductivos	Ferromagnéticos (Fe, Ni, Co).	Porcelana	>= 25 USD
	Paramagnéticos (Al, Pt)	Vidrio Plástico	
Capacitivos	Metales y No metales	-	>= 25 USD
Fotoeléctricos	Vidrio, metal, plástico, madera, líquidos	-	>= 20 USD

Nota: Esta tabla muestra el comportamiento de los sensores frente a diferentes materiales.

La tecnología utilizada para la detección de objetos se la realiza mediante la utilización de sensores fotoeléctricos, ya que es una muy buena alternativa por sus características técnicas, disponibilidad y costo.

Para el caso de los sensores de proximidad fotoeléctricos existe una gran variedad de proveedores, se los puede conseguir en diferentes calidades, características, prestaciones y precio, por lo cual existe una disponibilidad alta.

Señales y variables a ser medidas en cada etapa del proceso

El sistema de instrumentación está encargado de identificar la posición de la botella en cada etapa del proceso, identificar la posición de la boquilla de dosificación, verificar el nivel de llenado en la botella a dosificar, determinar el nivel de materia prima disponible y la disponibilidad de tapas.

Llenado

Se realizará la dosificación directa de material, controlada por tiempo, mediante el accionamiento directo de la bomba de suministro. La cual inicia una vez posicionada la botella en la etapa de llenado y culmina tras haber transcurrido el tiempo de dosificación, obtenido en la calibración del sistema.

Mediante el sensor de nivel, se comprueba el cumplimiento del nivel de material mínimo requerido para que el producto pueda pasar a la siguiente etapa, caso contrario se realiza una dosificación rectificadora, controlada por señal PWM que entrega dosificaciones pequeñas (entre 4 - 5 ml), que se acciona hasta recibir la señal de cumplimiento del nivel requerido en la dosificación.

Los sensores que intervienen en esta etapa son:

- Sensor de presencia de botella en la etapa de llenado
- Sensor de Nivel de llenado en la botella a dosificar
- Sensor de Nivel de material prima en el almacenamiento del material

Tapado

Dentro de la estación de tapado se determina la existencia de un envase dentro de esta etapa. Se verifica la disponibilidad de insumos en el almacén y se continúa con el proceso. Los sensores utilizados en esta etapa del proceso son:

- Sensor de presencia de botella en la etapa de tapado
- Sensor de presencia de tapas disponibles

Ajuste

La etapa de ajuste tiene un sistema independiente de control de torque, acondicionado dentro del sistema, la única variable a medir, será la presencia de la botella dentro de esta etapa.

-Sensor de presencia de botella en la etapa de ajuste de tapas.

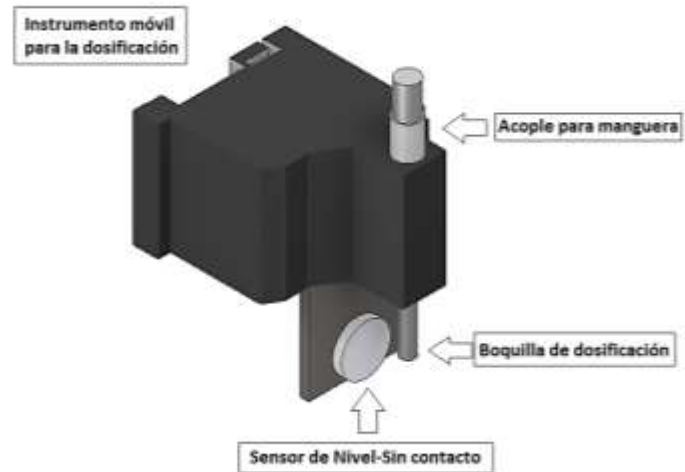
Esquema de ubicación para cada elemento de medida

Dosificación

A continuación, se muestra la ubicación del sensor encargado de comprobar el nivel del producto en el envase y que permite accionar la etapa de dosificación rectificadora en caso de no cumplir con el nivel mínimo de material requerido.

Figura 31.

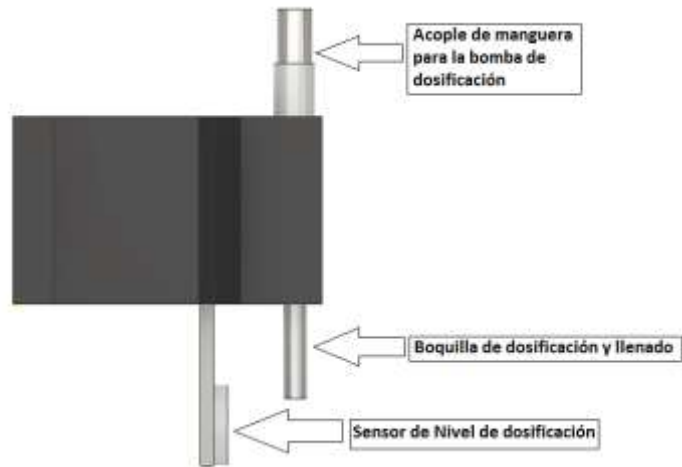
Ubicación de elemento de medida para la etapa de dosificación



La ubicación del sensor es fundamental, ya que debe colocarse adecuadamente en un lado de la botella para realizar la comprobación de medida del nivel en el envase.

Figura 32.

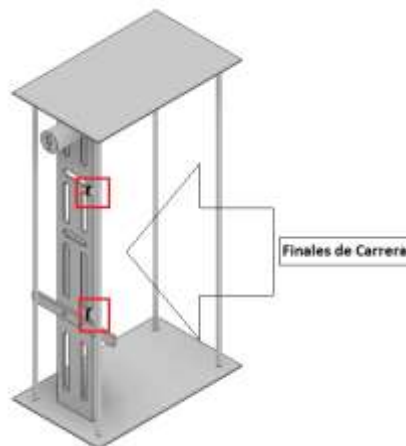
Vista lateral del instrumento de medida para la dosificación.



Dentro de esta etapa existen fines de carrera que determinarán la posición del instrumento de dosificación, y permite calibrar adecuadamente la altura a la cual se posicionará el instrumento para llenar el envase.

Figura 33.

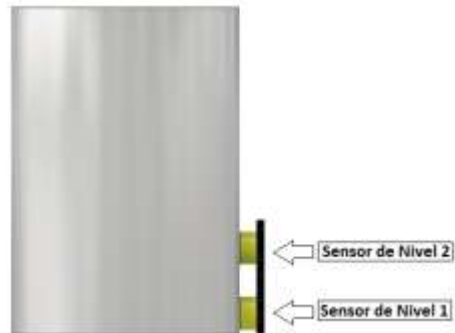
Ubicación de los fines de carrera de la etapa de llenado.



Posteriormente se visualiza los sensores de nivel del almacenamiento que permiten establecer la alerta sonora y visual por falta de material que impide la continuidad del proceso, cuando el caso lo requiera.

Figura 34.

Sensores de nivel en el almacenamiento de producto.



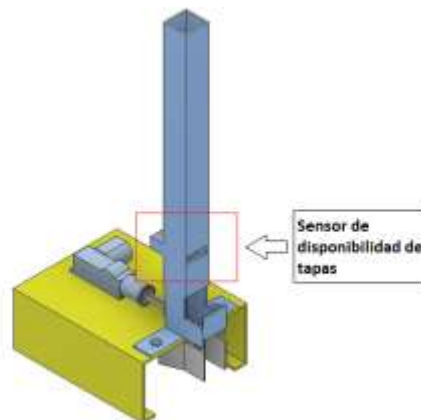
La ubicación de los sensores en el almacén de gel antibacterial, permiten tener la bomba de dosificación continuamente con producto en su tubería, evitando que el sistema de dosificación se vea afectado, por falta de material en sus conductos.

Colocación de tapas

La ubicación del sensor para la disponibilidad de tapas en el almacén, es ubicado en un lado lateral a una altura que permita determinar al menos dos tapas disponibles.

Figura 35.

Ubicación del sensor de disponibilidad de tapas en el almacén.

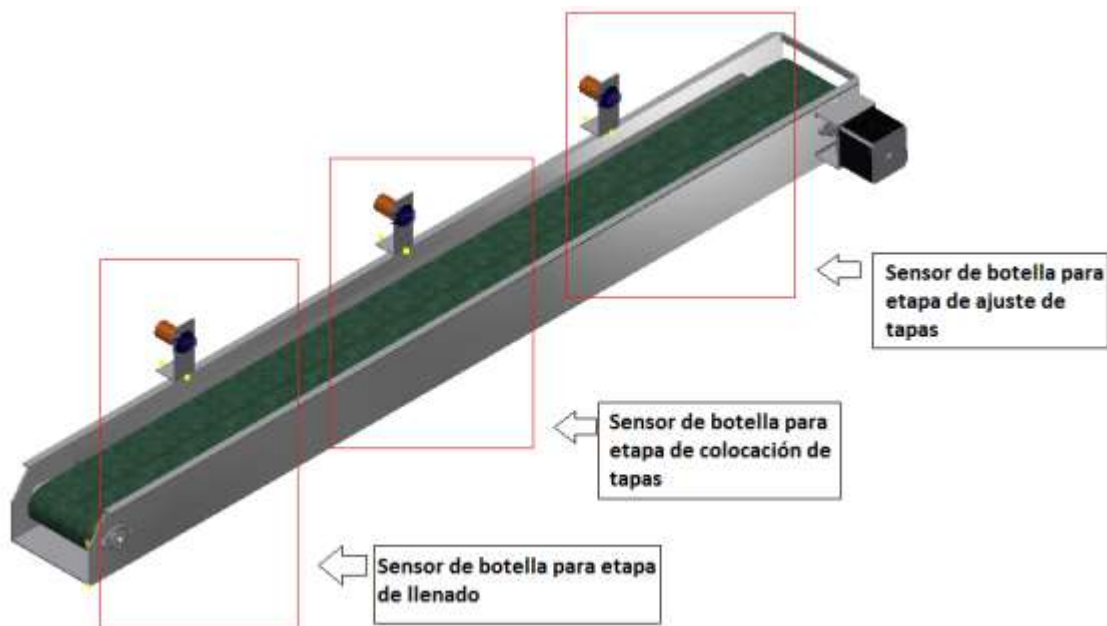


Sensores de posicionamiento en cada etapa del proceso.

En cada etapa del proceso, tres sensores son los encargados de determinar en qué parte del proceso se encuentra la botella, como se muestra a continuación.

Figura 36.

Ubicación de los sensores para las etapas del proceso.



Ingeniería Conceptual para el sistema de Control

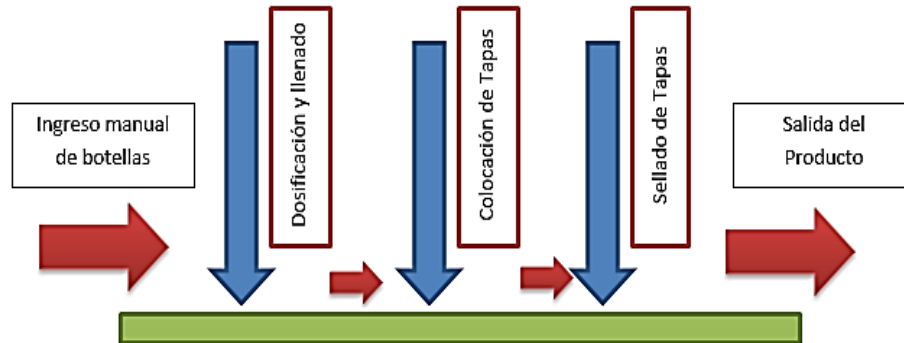
Requerimientos del proceso

Para determinar el accionar del sistema de control, se debe comprender el funcionamiento del proceso.

Los esquemas y diagramas del proceso de llenado y tapado de botellas de gel antibacterial de 75 ml, son mostrados en las siguientes imágenes.

Figura 37.

Esquema del proceso para el prototipo automatizado



La **Figura 37**, es la representación esquemática del proceso, la cual permite comprender las etapas que intervienen dentro del sistema.

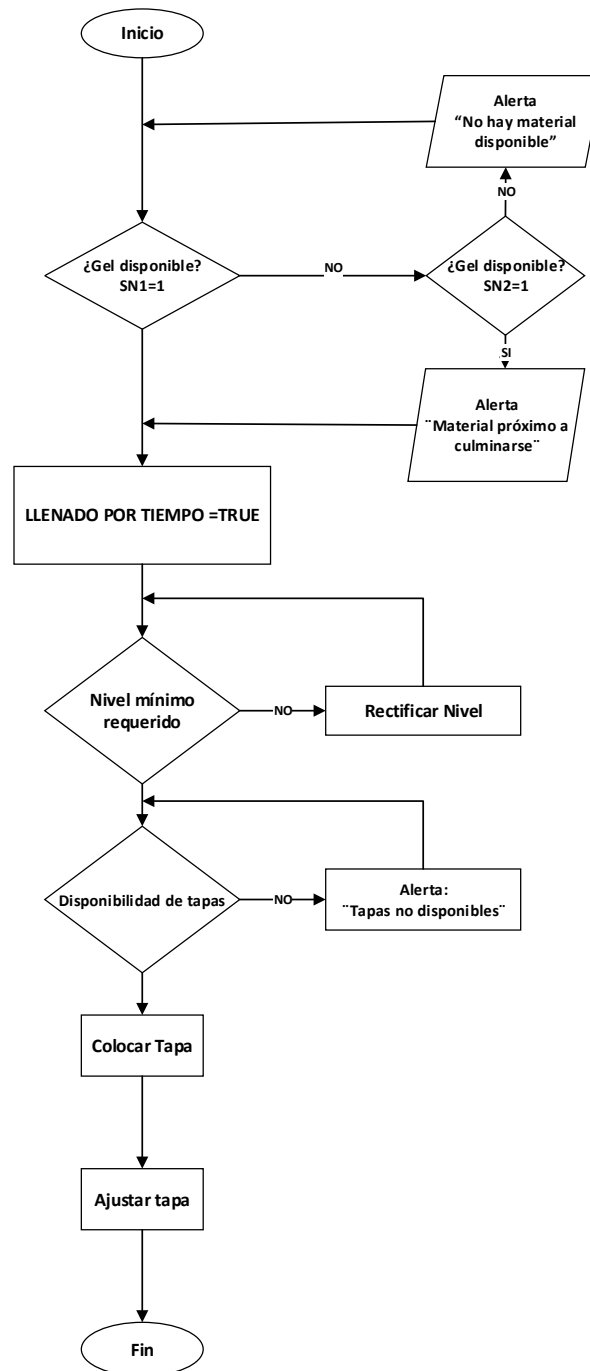
A continuación, se muestra el diagrama de proceso, el cual describe el comportamiento del sistema de acuerdo a sus variables externas, el orden de operaciones y las actividades realizadas dentro de cada operación.

Como se muestra en la **Figura 38**, se realiza una dosificación directa en el envase calibrado por tiempo y posteriormente el sensor de nivel, permite determinar si el nivel mínimo de material fue completado. Del no cumplirse esta condición, se realiza la rectificación de dosificado, la cual permite completar el nivel de producto y cumplir con el nivel requerido en la dosificación.

Una vez realizada la dosificación y comprobado el nivel correspondiente a 75ml $\pm 5\%$ se procede a colocar y ajustar la tapa del producto elaborado, siempre y cuando existan tapas disponibles en el almacén.

Figura 38.

Diagrama de proceso utilizado en el prototipo automatizado.



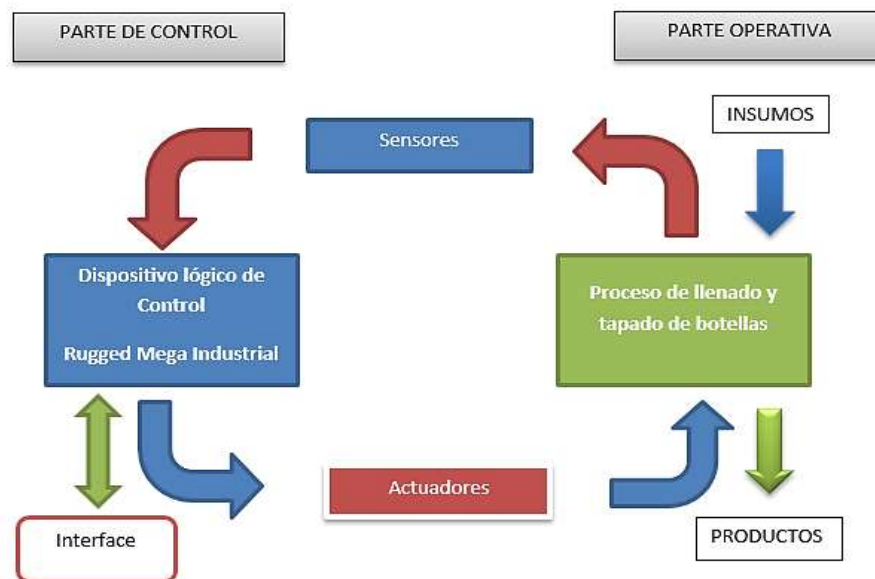
Requerimientos Necesarios para el Sistema de Control

El sistema de control es el encargado de comandar las operaciones secuenciales del proceso de manera automática, por lo que debe ser capaz de monitorear las señales recibidas por los sensores digitales de manera ininterrumpida, y de acuerdo a las señales, realizar acciones de control establecidas, con el objetivo de cumplir la tarea total del proceso.

El controlador debe tener la capacidad de comunicarse en conjunto con los sensores, actuadores e interfaz HMI

Figura 39.

Diagrama del sistema de control automatizado.



Análisis del proceso de Control con los elementos que intervienen en el proceso.

Etapa de llenado

Dentro de la etapa de llenado se comanda una electroválvula neumática (EV_1.1) que, mediante el movimiento de la banda de transporte y el accionamiento

de un cilindro neumático (CN_1.0), detiene y ubica a la botella vacía, en la estación de llenado, tras haber recibido la señal del sensor de presencia de botella (S1) dentro de la estación.

Al estar ubicada la botella dentro de la estación de llenado se realiza el accionamiento de un motor de corriente continua (DC_A+), controlada por señales moduladas por ancho de pulso (PWM), que permite elevar y descender la boquilla de dosificación, mediante una banda de desplazamiento lineal (ascendente y descendente), con el fin de posicionar adecuadamente el sensor de nivel (SC1) de producto que comprueba el nivel de llenado en el envase.

Una vez que se ha conseguido el posicionamiento de la boquilla se procede a accionar la bomba de dosificación controlada por ancho de pulso y tiempo, permitiendo el paso de material de manera gradual, dentro del recipiente, hasta que el tiempo de dosificación establecido en la calibración haya transcurrido.

El sensor de nivel comprueba el cumplimiento del nivel mínimo requerido de gel antibacterial a envasar y en caso de no cumplirse esta condición, la dosificación rectificadora (+) entra en funcionamiento. La asignación (+), significa que el sistema es capaz de completar el nivel requerido de material. Este acondicionamiento se lo realiza, ya que la bomba de dosificación, no entrega siempre un volumen laminar de producto y en algunos casos requiere completar la cantidad de material entregado.

Concluido el proceso de llenado, se vuelve a accionar el motor del elevador de la boquilla de dosificación, pero en sentido opuesto (DC_A-), para proceder a finalizar el proceso de la etapa de llenado y accionar la banda de transporte, para conducir la botella hasta la siguiente etapa.

Figura 40.

Diagrama de proceso de etapa de llenado.

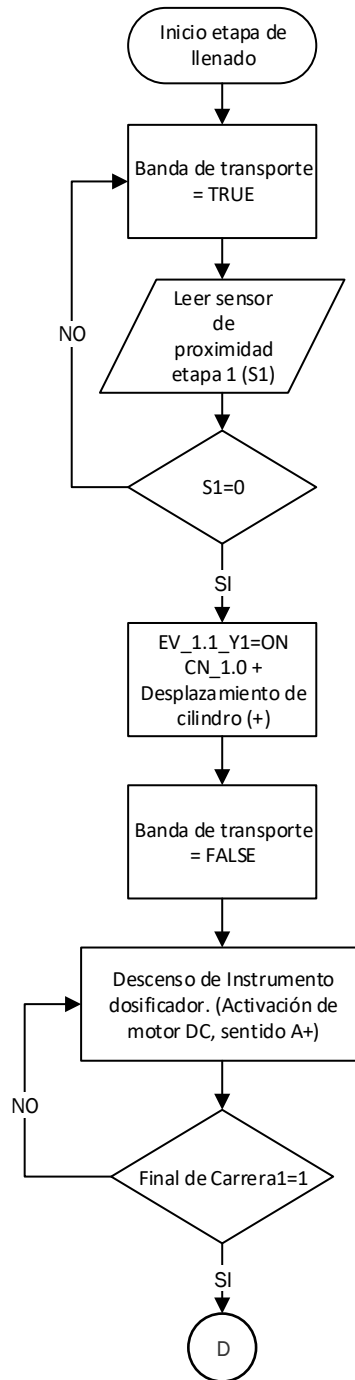


Figura 41.

Diagrama de proceso de etapa de llenado.

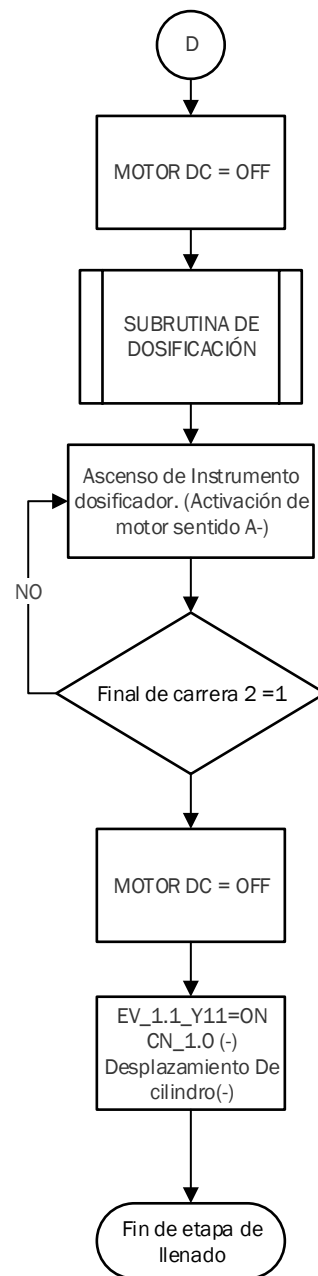
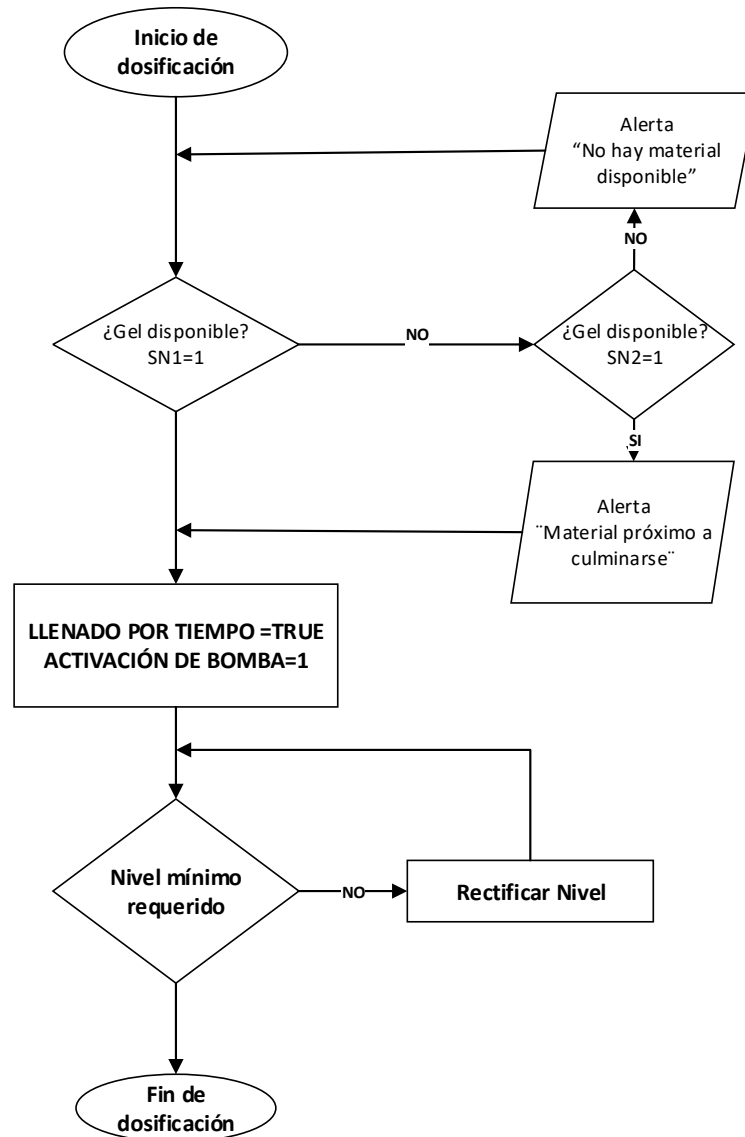


Figura 42.

Diagrama de proceso de subrutina de dosificación.



Colocación de tapas

La banda de transporte es la encargada de conducir la botella hasta la nueva estación, donde por medio del accionamiento de la electroválvula neumática (EV_2.1), se acciona el cilindro (CN_2.0), dejando a la botella en la posición correcta dentro de esta etapa, tras haber sido detectado mediante el sensor de proximidad (S2).

Una vez conseguido el posicionamiento adecuado, mediante la electroválvula de control (EV_3.1), se acciona el cilindro neumático (CN_3.0), capaz de desplazar la primera tapa del almacén, hasta el conducto que lleva a la tapa a su posición final sobre la boca de la botella, mediante la acción de la gravedad.

Ajuste de Tapa

De manera similar a las dos etapas anteriores, la botella con su tapa es conducida y detenida de la misma forma en la siguiente estación.

En la cual, mediante el accionamiento del cilindro neumático (CN_4.0), comandada por la electroválvula (EV_4.1), se presiona la tapa y se ajusta mediante el accionamiento del ajustador (motor DC), calibrado por tiempo, ya que posee un sistema independiente de control de torque, que impide que la botella y la rosca se vean afectadas.

Figura 43.

Diagrama de proceso de etapa de colocación de tapa.

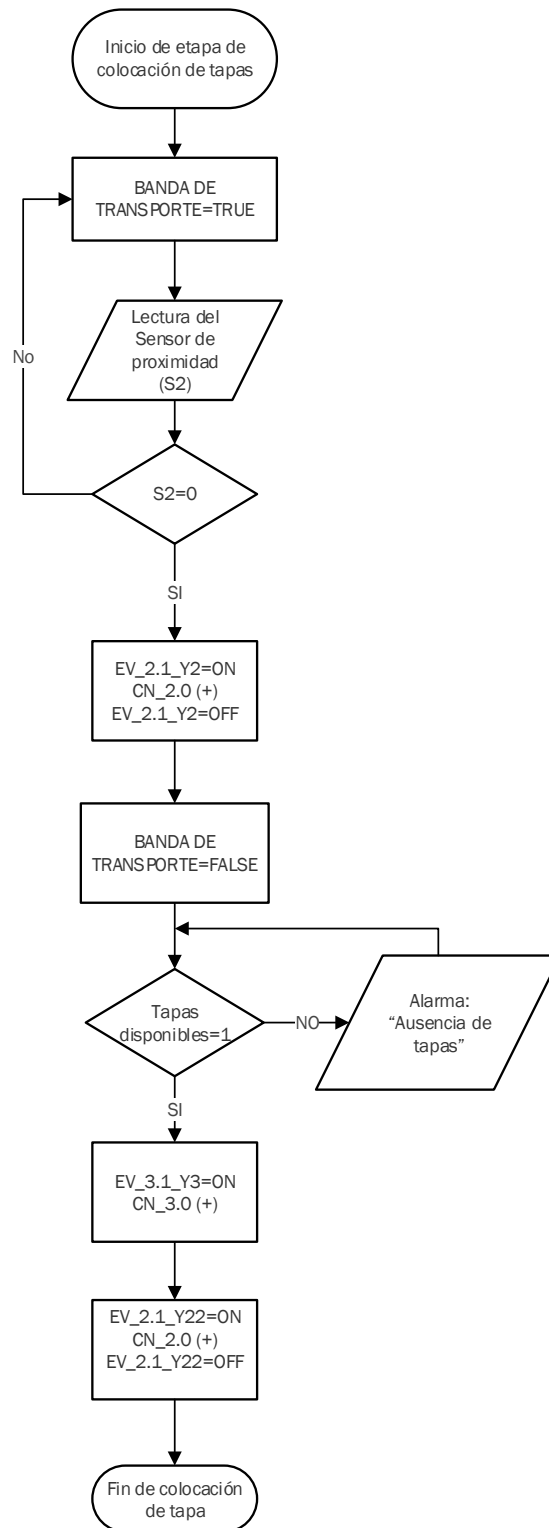
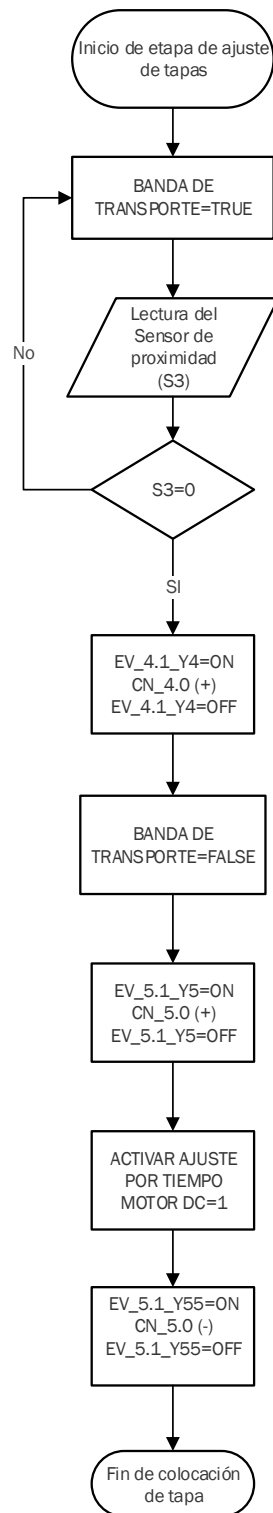


Figura 44.

Diagrama de proceso de ajuste de tapa.



Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Control

Viabilidad Técnica

Existe una variedad de tarjetas de hardware abierto de bajo costo que cuentan con las prestaciones y características necesarias para ser utilizadas dentro del proceso del prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de gel antibacterial.

Los componentes actuadores necesarios para implementar el sistema pueden ser acondicionados de acuerdo a las necesidades del proceso.

Existe una variedad de actuadores y elementos de control con características eléctricas estandarizadas.

Además, al considerar los elementos de control (electroválvulas), se puede conseguir de accionamiento eléctrico a 220VAC, 110VAC, 24VDC, monoestables y biestables. Esta versatilidad permite acoplar ciertos elementos del sistema sin modificar o depender de fuentes de alimentación externas, que limiten la operatividad del sistema.

Disponibilidad Técnica

La mayor parte de componentes necesarios para la implementación se los puede conseguir en tiendas nacionales de electrónica y automatización Industrial.

La gran variedad de proveedores, ofrecen una gama alta de posibilidades al momento de adquirir los componentes, ya que existen en diferentes calidades, prestaciones y precio.

Para el caso de algunos controladores o componentes que se encuentran disponibles en mercados internacionales, bajo el proceso de compra e importación, se los puede conseguir sin ningún problema en un tiempo no superior a los 20 días.

Esquema y ubicación de los elementos de control y actuadores existentes.

Dentro del prototipo existe un conjunto de actuadores, cada uno cumpliendo con las tareas requeridas por cada etapa.

Etapa de llenado

Dentro de esta etapa se requiere de un motor, que transmita movimiento a la banda de transporte permitiendo elevar y descender el instrumento para el llenado de producto.

Además de la bomba de dosificación, que está situada en la parte superior de la torre.

La disposición de los elementos requeridos se muestra a continuación.

Figura 45.

Ubicación de elementos actuadores para la dosificación del producto.

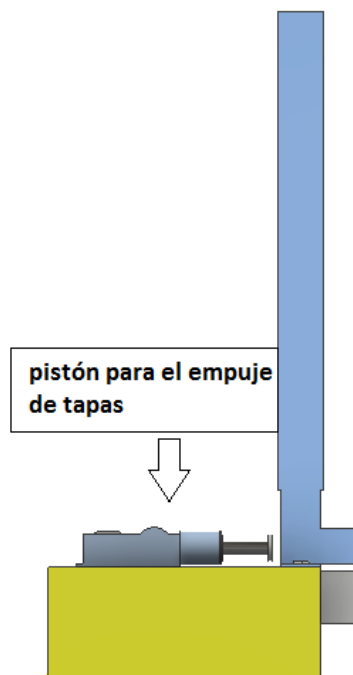


Etapa de colocación de tapa

Esta etapa posee un actuador del tipo pistón, capaz de desplazar la tapa del interior del almacén y ubicarla dentro de la cavidad para el desplazamiento vertical de la tapa.

Figura 46.

Ubicación del elemento actuador de la colocación de tapas.



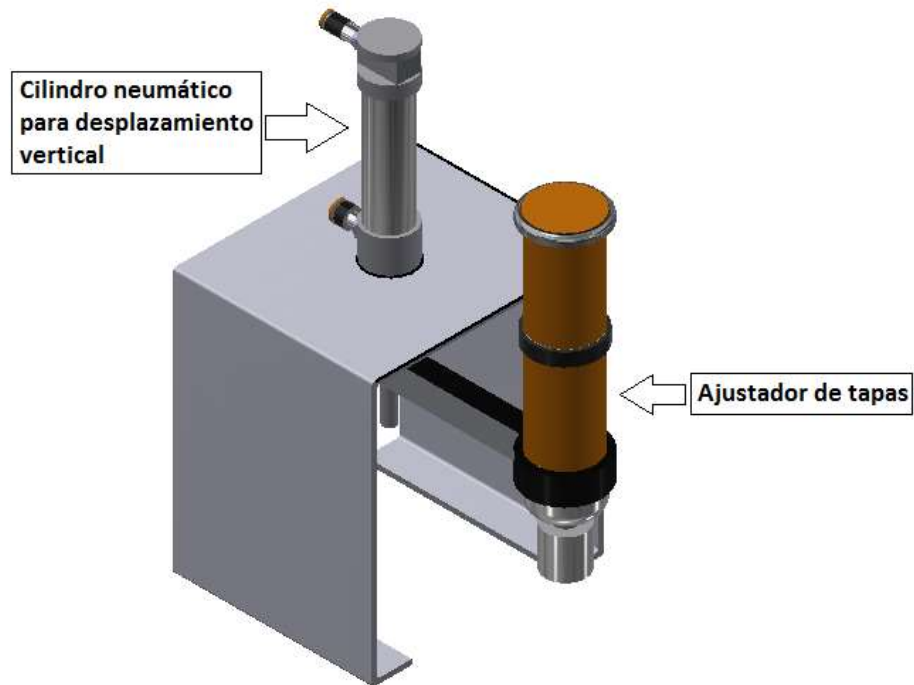
Etapa de ajuste de tapa

Dentro de esta etapa se encuentra un cilindro neumático, capaz de desplazar el ajustador de tapas en posición vertical ascendente y descendente.

Y el ajustador de tapas con control de torque independiente.

Figura 47.

Posición de los elementos de la etapa de ajuste de tapas.

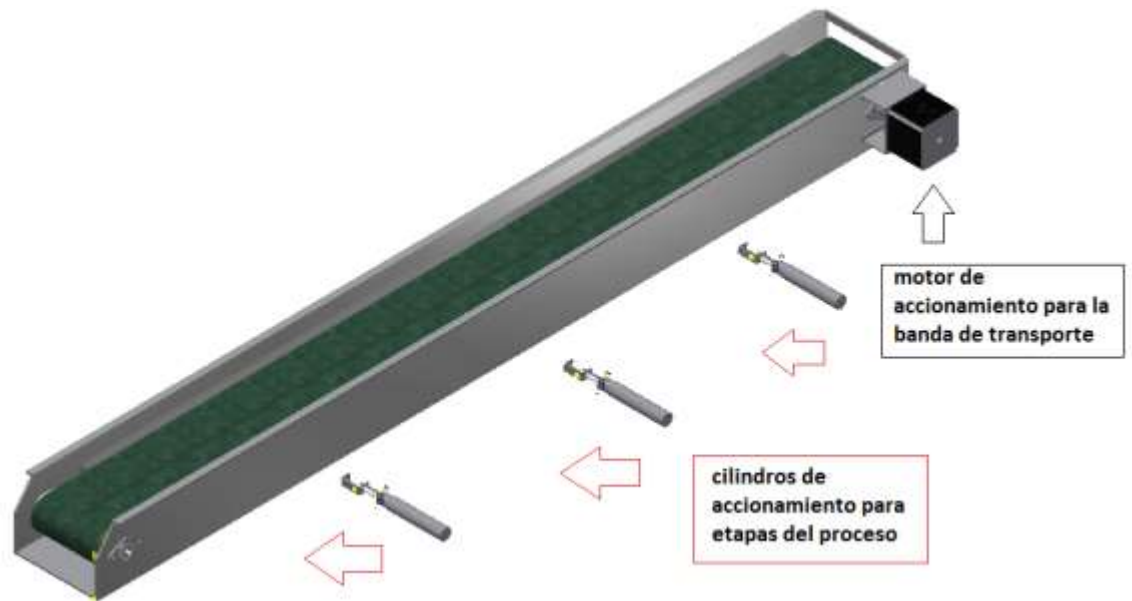


Sistema en conjunto

El sistema en conjunto requiere de un motor para ejercer movimiento en los rodillos de la banda de transporte. Y tres actuadores neumáticos, para detener la botella en cada estación del proceso. A continuación, se muestra la disposición de cada uno.

Figura 48.

Elementos actuadores del sistema de movimiento.



Ingeniería Conceptual para la Interfaz Humano Máquina

Requerimientos necesarios para la Interfaz HMI

La pantalla en la cual se va a desarrollar la interfaz HMI, debe tener al menos 7 pulgadas de dimensión, para que el operador pueda tener un campo amplio de visión.

Es importante que la visualización sea mediante una pantalla gráfica a color que sea amigable con el usuario y que cumpla con la normativa industrial GEDIS.

Al momento de encender el sistema, el prototipo debe ser capaz de receptor el pedido solicitado por el operario, tras recibir el estado de los sensores de disponibilidad de materia prima en los almacenes de gel antibacterial y tapas.

Una vez que se recepta la disponibilidad de insumos para la producción, se debe permitir la inicialización del proceso, mediante el ingreso táctil en pantalla.

Mediante la visualización en pantalla, el operario podrá observar el estado del proceso en tiempo real. Y en caso de presentarse una alerta por falta de material, ésta debe mostrarse en una ventana de despliegue o “pop up”.

Viabilidad y Disponibilidad técnica para la Interfaz Humano Máquina

Viabilidad Técnica

La interfaz HMI puede ser implementada mediante el uso de pantallas TFT, con comunicación serial. Que presenta una versatilidad para la creación de Interfaces en su propio software de diseño.

Existen algunas marcas con software abierto que permiten integrar componentes de diferentes marcas con comunicación serial.

El desarrollo de diferentes librerías de código abierto, simplifican el trabajo al momento de implementar el software, para la interfaz HMI. Permitiendo facilitar el trabajo del desarrollador.

Disponibilidad Técnica

En la actualidad existen distribuidores de diferentes marcas de pantallas TFT en el mercado, con diferentes alternativas de tamaño y tipo.

La empresa Nextion, tiene una línea de distribuidores en Ecuador, que facilitan la compra, asesoramiento y soporte en pantallas para interfaces HMI.

El software de diseño de Interfaces HMI Nextion, posee una licencia gratuita para desarrollar la interfaz, sin limitar su uso en el diseño.

Ingeniería Básica para la elaboración del Prototipo Automatizado

Análisis y revisión de herramientas, componentes y piezas necesarias de la estructura.

A continuación, se realiza la lista de herramientas y materiales necesarios para elaborar el prototipo automatizado, de acuerdo a los requerimientos y necesidades del proceso.

Elaboración del esbozo del sistema

Para el desarrollo de este proyecto se hace uso del software de diseño por computador **AUTODESK INVENTOR**.

Es necesario poseer una licencia de estudiante, para poder realizar modificaciones y visualizaciones luego de un tiempo superior a 30 días, tras su instalación.

Soporte Base y banda de transporte

La base requiere ser construida en acero inoxidable y estructuralmente es el soporte en la cual se apoya el resto de etapas del proceso.

Los datos más relevantes se muestran en la **tabla 6**.

Tabla 6.

Especificaciones de elementos para la banda de transporte.

Elemento	Material	Tipo	Especificaciones	Dimensiones
Base de la estructura	acero	inoxidable	T-304 3mm	1200x90x140 mm
Deslizadero de la banda de transporte	acero	Inoxidable	T-304 2mm	90x100 mm
Rodillos	plástico	polipropileno	mecanizado	146x40x40 mm
Horquillas	hierro	fundido	-	38x24x6 mm
Faja	sintético	poliéster	Vulcanizada 1mm	90x 18000 mm
Templador	acero	Inoxidable	T 304 8mm	1500mm

Nota: La tabla muestra las especificaciones de la banda de transporte.

Etapa de llenado

La estructura de la etapa de llenado es elaborada en acero inoxidable, y cumple las funciones de conducir la boquilla de llenado hasta el recipiente, colocar el sensor de nivel en la posición adecuada junto a la botella a dosificar, sujetar la bomba de dosificación y albergar el almacén de producto de gel antibacterial.

De esta manera, la etapa de llenado tiene una forma de torre que permite estabilizar y sujetar adecuadamente todos los componentes.

Los materiales y piezas requeridas se muestran a continuación:

Tabla 7.

Especificaciones de elementos de la etapa de llenado.

Elemento	Material	Tipo	Especificaciones	Dimensiones
Base estructural-tipo torre	acero	inoxidable	T-304 3mm	150x460x250 mm
Instrumento móvil	acrílico	poliestireno	mecanizado	90x115X70 mm
Banda de deslizamiento	caucho	SBR	vulcanizado	210x5x2 mm
Boquilla de llenado	acero	inoxidable	T-316L	145x8x8 mm

Etapa de colocación de tapas

La etapa de colocación de tapas, contiene un almacén de suministro. El cual es construido en acrílico transparente, que permite la visualización y existencia de tapas en el contenedor.

El soporte que sujeta el almacén, sobre la etapa de colocación de tapas, es mecanizado en acrílico transparente, el cual permite visualizar con facilidad la posición de la botella dentro del proceso.

Los materiales y piezas requeridas son:

Tabla 8.

Especificación de piezas y elementos de la etapa de colocación de tapas.

Elemento	Material	Tipo	Especificaciones	Dimensiones
Base estructural de la etapa de colocación de tapas	acrílico	poliestireno	Transparente 4mm	210x168x60 mm
Torre de almacenamiento de tapas	acrílico	poliestireno	Transparente 3mm	380x37x37 mm
Piezas de empuje de tapa	acrílico	poliestireno	Transparente 3mm	-
Piezas de alineación de tapas	acrílico	poliestireno	Transparente 3mm	-

Nota: La tabla muestra los elementos de la etapa de colocación de tapas.

Etapa de ajuste de tapas

La etapa de ajuste de tapas, requiere de un soporte rígido que sujete a los componentes actuadores y permite mantenerse alineado para ejecutar la tarea de ajuste de tapa.

Las piezas estructurales que intervienen en esta etapa se muestran a continuación:

Tabla 9.

Especificación de piezas y elementos de la etapa de ajuste de tapas.

Elemento	Material	Tipo	Especificaciones	Dimensiones
Base estructural de la etapa de ajuste de tapas	acrílico	crystal	Transparente 6mm	mm
Anillos sujeción	de acrílico	crystal	Transparente 4mm	380x37x37 mm
Mango sujeción ajustador	de del Fibra	carbono	Sólido	-
Pieza alineación movimiento	de de acrílico	crystal	Transparente 3mm	-

Ingeniería Básica para el sistema de Instrumentación

Análisis y revisión de instrumentos necesarios dentro del sistema.

A continuación, se realiza la lista de instrumentos que debe tener el prototipo automatizado para el llenado y tapado de gel antibacterial, además se describe las características básicas de los instrumentos.

Sensores de nivel

La dosificación por nivel y la generación de alertas de ausencia de material, se realiza con la utilización de sensores interruptores sin contacto, los cuales son ubicados a un costado de la botella a dosificar, al igual que al costado del tanque de materia prima.

Las dimensiones del sensor deben cumplir con las siguientes características:
Dimensiones: Inferiores a (2.9x2.9x1.8) cm. Su peso no debe ser superior a 300g.
Debe tener una velocidad de respuesta en el orden de milisegundos, para obtener respuestas rápidas en el controlador.

Los sensores deben determinar el nivel, sin haber entrado en contacto con el producto (gel). Considerando el material de la botella (plástico PET).

Es necesario el uso de sensores con voltajes de alimentación entre 5-24 voltios, ya que permitirá integrarlos al sistema sin limitantes externas de alimentación.

La configuración digital NPN y PNP, no representa una condición determinante dentro del sistema ya que por medio del software se puede modificar esta variante.

Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad, permiten detectar los objetos plásticos (botella y tapas) dentro del proceso.

Las condiciones básicas que deben cumplir son:

Forma cilíndrica (cantidad: 3), están destinados para la detección de objetos en las etapas del proceso. Tamaño: Inferior a (2cmx5cm). Voltaje de alimentación: 5-24v. Configuración PNP, NPN.

Forma rectangular (cantidad: 1), está destinado a detectar la presencia de tapas en el almacén de tapas. Tamaño: (3cmx1cmx3cm). Peso: inferior a 500g. Voltaje de alimentación: 5-24v. Configuración PNP, NPN.

El rango de detección de objetos para ambos sensores, es de (5mm -5cm).

A continuación, se muestra una lista de todos los sensores que estarán relacionados en el proceso.

Tabla 10.

Descripción de los sensores que intervienen en el prototipo automatizado.

SENSORES			
Nombre	Tipo	Descripción	ID
Sensor de posición1	Digital	Determina que una botella a ingresado a la estación de llenado y dosificación	S1
Sensor de posición2	Digital	Determina que una botella a ingresado a la estación de colocación de tapa	S2
Sensor de posición3	Digital	Determina que una botella a ingresado a la estación de sellado de producto	S3
Sensor de tapas	Digital	Determina la existencia de tapas en el almacén	ST1
Sensor de Nivel de Gel 1	Digital	Determina la cantidad de gel antibacterial existente en el tanque de suministro. Alerta 1	SN1
Sensor de Nivel de Gel 2	Digital	Determina la cantidad de gel antibacterial existente en el tanque de suministro. Alerta 2	SN2
Sensor de dosificación	Digital	Verifica el nivel de la dosificación del producto	SD

Nota: La tabla muestra la distribución de sensores utilizados dentro del proceso.

Análisis de instrumentos existentes en el mercado

Medida de Nivel

A continuación, se realiza la descripción de los sensores de nivel sin contacto, disponibles y que cumplen con las especificaciones y características técnicas, para poder ser utilizados dentro del sistema de instrumentación, en la tabla se muestra la comparación entre los medidores de nivel.

Tabla 11.*Sensores capacitivos de nivel sin contacto.*

Sensor	XKC-Y25-V	DJL-Y26-V
Tipo	Capacitivo	Capacitivo
Forma	Cilíndrica	Cubica
Tamaño	2.8 cm x 1.69 cm	2.8 cm x 3.56 cm
Espesor de Inducción	0-13 mm	0-16 mm
Nivel de error	±1.4 mm	±1.5 mm
Temperatura de operación	0-105°C	0-85°C
Voltaje de alimentación	5-24 VDC	5-12VDC
Consumo de corriente	5mA	5mA
Corriente de salida	1-100mA	1-100mA
Tiempo de respuesta	500mS	500mS
Configuración	NPN	NPN
Normativa de protección	IP67	IP65
Humedad	5%-100%	5%-100%
Material	ABS	PLASTICO
Costo	20 USD	35 USD

Sensores de proximidad

A continuación, se realiza la descripción de los sensores de proximidad, disponibles y que cumplen con las especificaciones y características técnicas, para poder ser utilizados dentro del sistema de instrumentación.

Tabla 12.

Sensores de proximidad fotoeléctricos.

Sensor	FS-50 NK	E18-D80NK
Tipo	Fotoeléctrico	Fotoeléctrico
Forma	Cúbica	Cilíndrica
Tamaño	1.220x0.984x0.512 in	18mm x45 mm
Distancia de detección:	1.2-19.7 in	3-80 cm
Detección de objetos	Transparente u opaco	Transparente u opaco
Temperatura de operación	-25°C, +55°C	25°C, +55°C
Voltaje de alimentación	5 VDC	5VDC
Consumo de corriente	25mA	25mA
Corriente de salida	100mA	100mA
Tiempo de respuesta	2mS	2mS
Configuración	NPN	NPN
Ángulo de punta	15°	<15°
Protección	Contra polaridad de conexión	Contra polaridad de conexión
Material	plástico	plástico
Costo	15 USD	12 USD

Nota: La tabla muestra los sensores de proximidad disponibles.

Interruptores de fin de carrera

A continuación, se realiza la descripción de los sensores de fin de carrera, disponibles y que cumplen con las especificaciones y características técnicas, para poder ser utilizados dentro del sistema de instrumentación.

Tabla 13.

Interruptores de final de carrera.

Sensor	MICRO	
	INTERRUPTOR KW11-3Z-2	MICRO INTERRUPTOR TM-1704
Tipo	Mecánico	Mecánico
Tipo de contacto	3PIN 1NC 1NO	SPDT NO+NC
Tamaño	20X6X10 mm (LWH)	18mm x45 mm
Certificación de producto	ROHS	-
Voltaje	AC 125V-250V	250 VAC
Corriente máxima	5A	15A
Resistencia de contacto	25M Ω	75M Ω
Costo	2.40 USD	4.50 USD

Nota: La tabla muestra una comparativa de los sensores de carrera disponibles.

Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones.

Para seleccionar los instrumentos a utilizar en el prototipo es necesario tomar en cuenta lo determinado en los apartados anteriores, los requerimientos, viabilidad y

disponibilidad técnica, además del tamaño, los tiempos de respuesta, rangos de medida, costos y prestaciones.

Medida de Nivel

Para la medición de nivel en la etapa de dosificación, será necesario la utilización de un sensor capacitivo sin contacto y será del modelo XKC-Y25-V.

El sensor de nivel XKC-Y25-T12V del fabricante **Shenzhen Sunshine Electronics**, es un sensor de proximidad no invasivo de tipo capacitivo, detecta la presencia o ausencia del líquido al nivel que está instalado. No necesita estar en contacto con el líquido ya que mide su presencia desde afuera del envase, esto es útil cuando no se puede interferir con la sustancia por seguridad o para mantener la integridad del envase.

Cuando el líquido pasa al nivel del sensor, su capacitancia parásita se acopla al campo eléctrico generado por el sensor, esto es detectado por el sensor capacitivo y procesado como presencia de líquido. Se puede ajustar la sensibilidad ajustando el potenciómetro de calibración.

Conexiones:

- Marrón: Positivo (5-24VDC)
- Amarillo: Out (salida de señal)
- Negro: Sentido de salida. Conectar a Vcc o deje sin conectar para salida "Vcc" cuando detecte líquido, conectar a Tierra o 0V para salida "Gnd" cuando detecte líquido.
- Azul: GND (Tierra, 0V)

Figura 49.

Sensor de nivel capacitivo sin contacto modelo XKC-Y25



Detección de Objetos

Para la detección de objetos en las diferentes etapas del prototipo automatizado, es necesario la utilización de sensores fotoeléctricos, los cuales resultan adecuados para detectar materiales como el plástico. Los modelos utilizados de acuerdo a sus dimensiones, características técnicas y bajo costo son: FS-50NK y E18 D80NK del fabricante ***Hua Cheng Wei Ye Electronics***.

Figura 50.*Sensor fotoeléctrico FS-50NK*

Los sensores de proximidad fotoeléctrico E18-D80NK y FS-50NK permiten detectar objetos sin necesidad de contacto en un rango de hasta 80cm. De fácil integración con sistemas digitales como Arduino, Pícs o PLCs. Solo es necesario conectar la salida del sensor a una entrada digital del microcontrolador. La salida de este sensor es de tipo NPN normalmente abierto, por lo que al detectar un objeto la salida será GND y en estado de reposo VCC. Puede ser alimentado con 5V y trabajar directamente con el controlador. La sensibilidad del sensor es regulable mediante un potenciómetro integrado en la carcasa del componente. Además, posee un led que se activa cuando el sensor detecta un objeto, lo que permite calibrar y comprobar el buen funcionamiento del mismo.

Figura 51.

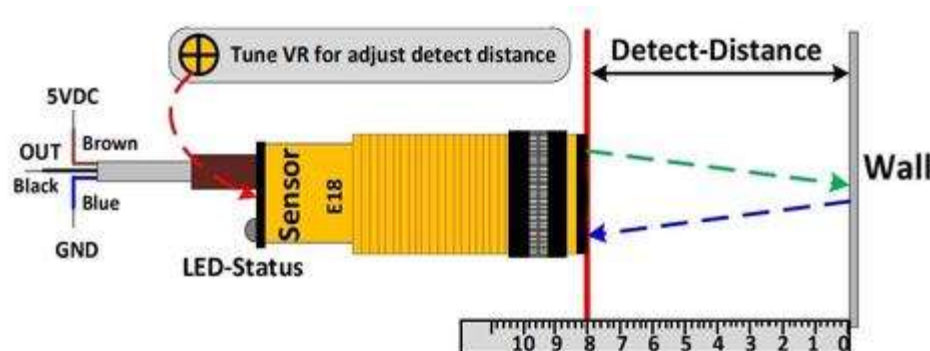
Sensor fotoeléctrico E18-D80NK



Estos sensores fotoeléctricos son de tipo difuso, por lo que tanto el emisor como el receptor de luz están integrados dentro del sensor y no necesita de un espejo fijo adicional (como los de tipo *reflex*). Su funcionamiento es el siguiente: el emisor emite un haz de luz infrarroja que al impactar sobre un objeto es reflejado, este reflejo es detectado por el receptor fotoeléctrico y se emite una señal de detección. El sensor no emite una señal con la distancia, únicamente muestra estados on/off.

Figura 52.

Diagrama de sensor fotoeléctrico E18-D80NK

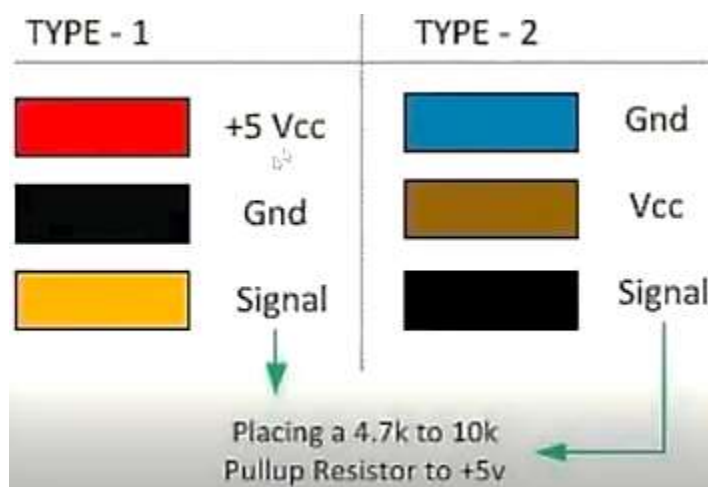


Estos sensores son utilizados en cada una de las etapas del proceso para determinar la presencia de una botella a procesar en cada etapa, su configuración de salida es de tipo NPN.

La configuración de sus cables se muestra a continuación:

Figura 53.

Tipos de cableado de sensor E18-D80NK



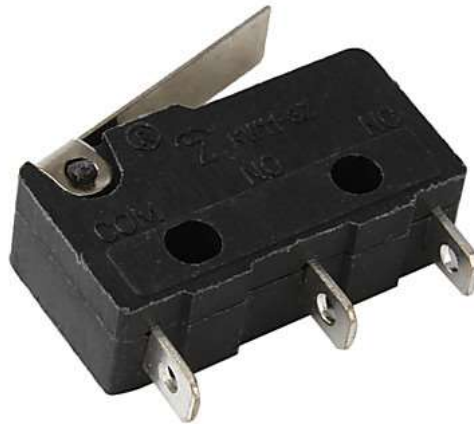
Para el caso del sensor fotoeléctrico E18-D80NK, el fabricante sugiere utilizar una resistencia de 4.7K Ω en la configuración **pull up**, para una correcta lectura del estado del sensor.

Interrupedores de Carrera

Para determinar la posición final del instrumento de dosificación se hace uso del fin de carrera KW11-3Z-2, del fabricante **Xiongfa Weiye Electronics**. El cual, por su tamaño y características es el adecuado para trabajar dentro del prototipo. Su tiempo de vida útil promedio es de 1000000 interacciones.

Figura 54.

Interruptor fin de carrera KW11-3Z-2.



Ingeniería Básica para el sistema de Control

Análisis y dimensionamiento de elementos de control necesarios

Tarjeta de control

En este apartado se considera el uso de una tarjeta de control programable de bajo costo, que permite integrar el sistema, monitorear las señales de cada etapa y comunicar la información del proceso con el interfaz humano máquina.

La tarjeta de control debe ser integrada en una placa PCB donde conste de todas las partes necesarias (módulos e instrumentos electrónicos) para su funcionamiento.

La cantidad de pines necesario mínimos del controlador de acuerdo al proceso son 27 y se encuentran desglosadas como se muestra a continuación.

Tabla 14.

Pines necesarios mínimos requeridos para el sistema.

	Elementos	Etapas	Tipo	Descripción	Cantidad
Pines de entrada	Sensores	Llenado	Digital	Nivel	3
				Presencia	1
		Colocación de Tapas	Digital	Presencia	2
		Ajuste de tapas	Digital	Presencia	1
	Sistema general		Digital	Control y mando	2
Pines de Salida	Actuadores	Llenado	Digital	Control de dosificación	3
				Control del elevador	3
				Actuadores neumáticos	2
		Colocación de tapas	Digital	Actuadores neumáticos	3
		Ajuste de tapas	Digital	Actuadores neumáticos	4

Elementos	Etapas	Tipo	Descripción	Cantidad
	Sistema General	Digital	Luz piloto	2
		Análogo	Alarma	1
Total de pines mínimos requeridos				27

Actuadores eléctricos

En el prototipo existe una serie de elementos actuadores eléctricos que cumplen tareas como: dar paso de aire para el movimiento de los cilindros neumáticos (electroválvulas neumáticas), accionar el movimiento del elevador, accionar la bomba de dosificación, accionar el movimiento de la banda de transporte.

A pesar de ser diseñado el sistema para un entorno industrial, al tratarse de un prototipo, se pretende que el sistema tenga la capacidad de funcionar con un suministro de energía de 110VAC, como fuente externa.

Bajo estas condiciones los actuadores utilizados, deberán accionarse a 12VDC, 24VDC o 110 VAC.

- Dimensionamiento del motor de la banda de transporte

Es necesario conocer el torque del motor requerido, para efectuar el movimiento. Considerando un acoplamiento directo del motor con el eje del sistema de tracción.

Las características técnicas relevantes para seleccionar el motor son:

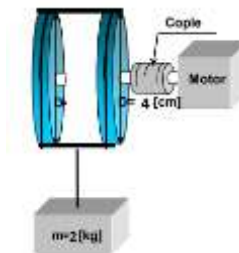
Torque requerido, tipo de motor, voltaje de trabajo, revoluciones por minuto. Al tratarse de un acople directo, el punto de partida es el cálculo del torque requerido.

Se estima un peso no mayor a 2Kg soportado por la banda de transporte.

Cálculo del torque del motor de la banda de transporte:

Figura 55.

Gráfico para el cálculo del torque del motor requerido.



Torque necesario= Radio de polea [cm] × Peso de carga [kg]

$$\text{Torque} = \frac{D}{2} \times m \quad (1)$$

Torque motor 1 (TM1):

$$TM1 = 4 [Kg \times cm]$$

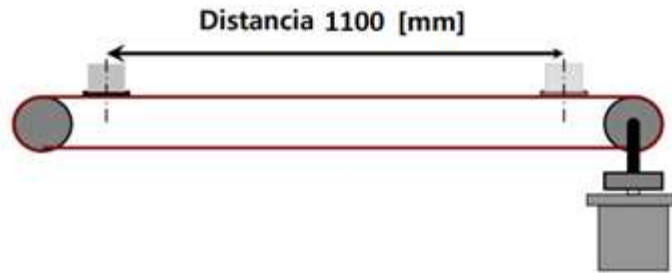
Se debe seleccionar un motor con un torque superior al calculado para obtener un mejor desempeño.

A continuación, se analiza la velocidad requerida por la polea y el motor, para obtener el movimiento adecuado en la banda de transporte.

La distancia deseada a recorrer es 1100 mm que corresponde al inicio y fin del proceso respectivamente.

Figura 56.

Representación gráfica del motor con acople directo en la banda transportadora.



Nota: El gráfico muestra una representación de la actividad realizada por el motor de la banda de transporte.

El tiempo empleado en recorrer esta distancia, estará relacionado con el nivel de la producción mínima requerido. Para lo cual se plantea lo siguiente:

Cantidad de productos mínimos en 8 horas=200

Cálculo del tiempo máximo empleado por producto (T_{mp})

$$T_{mp} = \frac{\text{horas de trabajo} \times 3600}{\text{Número de productos requeridos}} \quad (2)$$

$$T_{mp} = 144 \text{ s}$$

Tiempo máximo empleado en cada producto = 144 s.

Cabe mencionar que este valor es el tiempo máximo permitido por cada producto elaborado, incluyendo los tiempos totales utilizados por cada estación.

En esta primera instancia, se impondrá un tiempo promedio estimado de 6 segundos de retardo por estación, sin analizar tiempos de llenado y velocidad del resto de componentes.

Tiempo estimado por estación: 6 segundos

Tiempo total ocupado en las 3 estaciones: 18 segundos

Tiempo máximo requerido: $144-18 = 126$ segundos. Para desplazar la banda de transporte de un extremo a otro.

Entonces:

$$V = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \quad (3)$$

$$V = \frac{110\text{cm}}{126\text{ s}}$$

$$V = 0.87\text{cm/s}$$

El radio del rodillo de la banda de transporte tiene un diámetro de: 4cm

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{0.87\text{ cm/s}}{2\text{cm}}$$

$$\omega = 0.435\text{ rad/s}$$

Con este valor se consigue calcular la velocidad en rpm requerida para el motor.

$$rpm = \frac{\omega}{2\pi} \quad (5)$$

$$rpm = \frac{0.435 \frac{\text{rad}}{\text{s}} (60)}{2\pi}$$

$$rpm = 4.15$$

La velocidad mínima requerida para el motor es de 4.15 rpm.

Con esta velocidad mínima, el sistema podrá ser capaz de cumplir con los requerimientos de producción establecidos.

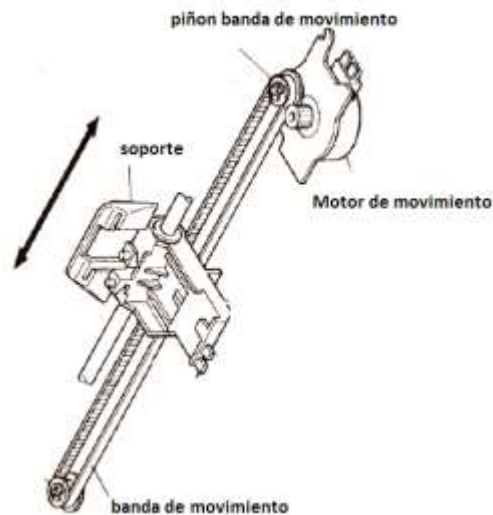
En base a este análisis se determina la necesidad de utilizar un motor de torque alto ($8 [Kg \times cm]$) y velocidad baja (min: 4.15 rpm).

- **Dimensionamiento del motor eléctrico para el elevador del instrumento dosificador.**

Este mecanismo utiliza una banda de transporte que eleva al instrumento dosificador. El peso soportado por este mecanismo es de 900g y la distancia entre piñones es de 34cm. La velocidad requerida para el descenso y subida del instrumento es de 5cm/s.

Figura 57.

Diagrama del mecanismo del elevador de dosificación.



A continuación, se procede a calcular las revoluciones por minuto requeridas en el motor y el torque necesario.

Haciendo referencia a las ecuaciones (4) y (5), se obtiene:

$$\omega = \frac{5 \text{ cm/s}}{0.5 \text{ cm}}$$

$$\omega = 10 \text{ rad/s}$$

$$rpm = \frac{10 \frac{rad}{s} (60)}{2\pi}$$

$$rpm = 95.49$$

De igual manera el cálculo del torque del motor se lo realiza en base a la ecuación (1), como se muestra a continuación: Torque motor 2 (TM2).

$$TM2 = 0.9/2 \times m$$

$$TM2 = 0.45 (0.5) = 0.23 \text{ [kgf} \times \text{ cm]}$$

De acuerdo al cálculo realizado, se requiere de un motor con bajo par motor y una velocidad moderada de 100 rpm aproximadamente, de forma cilindra.

- **Dimensionamiento de las electroválvulas**

Para realizar una correcta elección y dimensionamiento de una electroválvula es imprescindible conocer con qué tipo de fluido se va a trabajar y para qué tipo de aplicación va a estar destinada.

La aplicación dentro de este proyecto, es el control del paso de aire comprimido dentro del sistema neumático. Permite accionar el movimiento de los cilindros de simple y doble efecto para que realicen el desplazamiento lineal en cada etapa.

La presión a la que trabaja el sistema neumático puede variar entre 4-8 bares (Roydisa, 2020) .

El sistema trabaja con 6 bares de presión como suministro, por lo cual la presión soportada por las electroválvulas deberá ser mayor a este valor.

El diámetro planteado de las tuberías es de 6mm con un tipo de conexión con brida.

Las electroválvulas deben tener un tipo de control directo, ya que no es necesario un tipo de control asistido, porque la aplicación no requiere un flujo de alto caudal.

Las condiciones ambientales determinarán el grado de protección IP, que requiere el dispositivo, para lo cual se ha considerado una temperatura ambiente entre 14-30°C y una humedad relativa del 50%-60%.

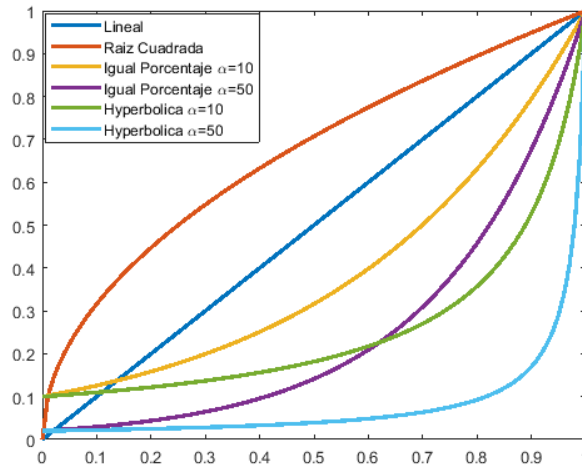
En el mercado existen electroválvulas monoestables y biestables. En este proyecto se considera como opción las electroválvulas biestables que presentan beneficios como: la conservación de la posición de la válvula, incluso frente a fallos de alimentación y poco consumo de energía (DirectIndustry, 2020) .

El número de vías es seleccionado de acuerdo a la aplicación, para este caso se requiere efectuar el movimiento de cilindros de simple y doble efecto, en los cuales para un accionamiento directo se requieren válvulas de 3 y 5 vías respectivamente.

Un criterio importante en la selección de las válvulas es la característica inherente de flujo que define la relación caudal - apertura del elemento final de control cuando la caída de presión a través de la válvula se mantiene constante. En forma equivalente, la característica de flujo inherente es la relación entre coeficiente de flujo C_v y la apertura. Las características inherentes de flujo típicas son: lineal, igual porcentaje, parabólica y apertura rápida. La elección de la característica de flujo inherente tiene influencia en la estabilidad y controlabilidad debido a la influencia de la ganancia del cuerpo de la válvula en la ganancia global de los elementos del lazo. La Figura 53 muestra las distintas características de flujo de las válvulas comerciales.

Figura 58.

Característica inherente de válvulas de control comerciales.

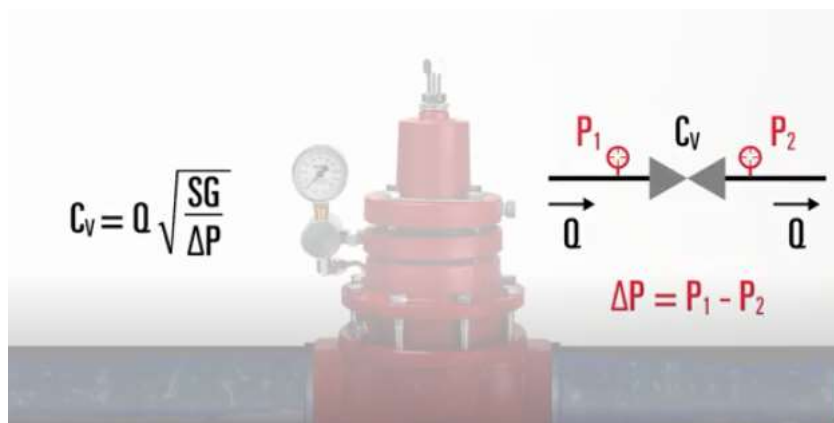


Nota: La grafica muestra las características inherentes de las válvulas de control comerciales.

El coeficiente de flujo de la válvula, es la capacidad de la válvula para que un líquido o gas fluya a través de él.

Figura 59.

Representación de cv de una válvula.



Para dimensionar las electroválvulas se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$C_v = \frac{41666Q\sqrt{GT}}{834C_f P_1 (y - 0.148y^3)} \quad (6)$$

$$Q = \frac{834C_v C_f P_1 (y - 0.148y^3)}{41666\sqrt{GT}} \quad (7)$$

$$y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \leq 1.50 \quad (8)$$

Donde:

C_v : Coeficiente de flujo de la válvula

G :Gravedad específica del gas (aire= 1.0)

C_f : Factor de flujo critico.

P_1 : Presión sentido ascendente (psia) = $P_u + 14.7$

P_u : Presión sentido ascendente (psig)

P_2 : Presión sentido descendente (psia) = $P_d + 14.7$

P_d : Presión sentido descendente (psig)

$\Delta P = P_1 - P_2$

Q=Caudal del gas en MMCF

T = temperatura del flujo en R = $T_f + 460$

T_f : Temperatura del flujo en °F

El valor obtenido del C_v requerido en base a las ecuaciones **(6)** **(7)** y **(8)**, se obtiene:

$$C_v = 0.6$$

La potencia eléctrica y el consumo de corriente son parámetros importantes a considerar dentro del dimensionamiento de los dispositivos y estos valores estarán

estrechamente ligados a la capacidad de los elementos de mando (relés). Ya que conjuntamente operan en el funcionamiento.

Los relés de 5v que se utilizan como elementos de mando para activar los solenoides de las electroválvulas cuentan con las siguientes características eléctricas:

- 10A 250VAC 10A 125VAC
- 10A 30VDC 10A 28VDC

Por lo cual, el consumo de corriente y potencia de los solenoides de las electroválvulas, no deben sobrepasar estos límites, al momento de seleccionar los dispositivos, tanto para corriente continua, como corriente alterna.

Las especificaciones de los solenoides vienen dadas en potencia y voltaje, por lo cual se hace el cálculo de la potencia soportada por los relés.

$$P = V \times I \quad (9)$$

$$P = 30V \times 10A$$

$$P = 300W$$

Lo cual indica, que la carga aplicada al relé no podrá sobrepasar un valor de 300W en corriente directa.

Mientras que en corriente alterna se determina la potencia activa y la aparente con un factor de 0.92, como valor mínimo en factor de potencia en Ecuador (CONELEC, 2016).

No se puede considerar como un circuito puramente inductivo ya que, presenta resistencia en el conductor (405Ω, como referencia). Para lo cual, se realiza el siguiente cálculo.

$$Pa = V \times I \times \cos\varphi \quad (10)$$

$$Pa = 125VAC \times 10A \times 0.92$$

$$Pa = 1150W$$

Este valor corresponde a la potencia activa. A continuación, se realiza el cálculo de la potencia aparente, la cual será necesaria para seleccionar el dispositivo.

$$S = \frac{Pa}{\cos\varphi} \quad (11)$$

$$S = \frac{1150}{0.92}$$

$$S = \frac{1150}{0.92}$$

$$S = 1250VA$$

Este es el valor soportado por los elementos de mando como potencia aparente, por lo cual se debe verificar que los solenoides no excedan este valor dado en voltios amperios, que corresponde a la potencia aparente consumida por la bobina.

Bajo estas especificaciones las electroválvulas necesarias para accionar el sistema son:

- 5/2 para los cilindros neumáticos de doble efecto.
- 3/2 para el cilindro neumático de simple efecto

Y deben cumplir con las características mencionadas en este apartado.

A continuación, se muestra una tabla con los tipos de electroválvulas que deben ser utilizadas en el proyecto.

Tabla 15.*Electroválvulas para el prototipo.*

Electroválvulas Neumáticas	Fuente de Alimentación	Tipo	Control	Potencia
5/2	AC,DC	Monoestable Biestable	Directo	<1250VA-AC <300W-DC
3/2	AC,DC	Monoestables	Directo	<1250VA-AC <300W-DC

Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos utilizados en el prototipo son cilindros de simple y doble efecto, que realizan desplazamientos lineales, dependiendo, de la disponibilidad y la aplicación dentro del proceso.

Los cilindros utilizados en el prototipo son:

Tabla 16.*Lista de cilindros neumáticos necesarios.*

Elemento	Tipo	Características
Cilindro #1	Doble efecto	6mm de diámetro de émbolo y 30 mm de carrera
Cilindro #2	Doble efecto	6 mm de diámetro de émbolo y 30 mm de carrera

Cilindro #3	Doble efecto	6 mm de diámetro de émbolo y 30 mm de carrera
Cilindro #4	Simple efecto	15 mm de diámetro de émbolo y 90 mm de carrera
Cilindro #5	Doble efecto	6 mm de diámetro de émbolo y 40 mm de carrera

Para el dimensionamiento de los cilindros neumáticos se debe considerar parámetros como: La fuerza ejercida por el elemento de trabajo, que depende de la presión del aire y del diámetro del cilindro. La fuerza teórica se calcula de la siguiente manera:

$$F_{teórica} = P \times A \quad (11)$$

$$A = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \quad (12)$$

Donde:

$F_{teórica}$: Fuerza teórica del émbolo (N)

A = Superficie útil del émbolo (cm²)

P=Presión de trabajo (kPa, 10⁵ N/m², Bar)

D=Diámetro del émbolo (mm)

Dimensionamiento para el cilindro de simple efecto:

Donde se utiliza un valor promedio de presión de 6 bares y cilindros con un diámetro de embolo de 6mm, de acuerdo a la ecuación (11).

$$F_{teórica} = 6 \times 10^5 \frac{N}{m^2} \times \left(\frac{\pi \times 0.015^2}{4} \right)$$

$$F_{teórica} = 106.02N$$

La fuerza neta de avance se considera como el 90% de la fuerza teórica.

$$F_{neta} = 0.9 \times F_{teórica} \quad (13)$$

$$F_{neta} = 0.9 \times 106.02N = 95.4N$$

El consumo de aire del cilindro de simple efecto, depende de la cantidad de ciclos realizados en un minuto.

De acuerdo al funcionamiento del sistema y la velocidad del proceso, se obtiene un máximo de 2 ciclos de trabajo por minuto, para el cilindro.

$$Consumo_{aire} = 2 \frac{ciclos}{min} \times \frac{\pi \frac{D^2}{4} L cm^3}{1ciclo} \quad (14)$$

$$= 2\pi \frac{ciclos}{min} \times \frac{\frac{1.5^2}{4} 9cm^3}{1ciclo}$$

$$= 31,80 \frac{cm^3}{min}$$

$$31,80 \frac{cm^3}{min} \times \frac{1L}{1000cm^3} = 0.032 \frac{L}{min} \quad (15)$$

Ley de Boyle:

$$P_0 \times V_{CN} = (P_0 + P_T) V_T \quad (16)$$

$$V_{CN} = \frac{(P_0 + P_T)V_T}{P_0} \quad (17)$$

$$V_{CN} = \frac{(10^5 + 6 \cdot 10^5) \times 0.032 \frac{L}{\text{min}}}{10^5}$$

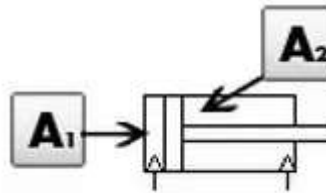
$$V_{CN} = \frac{(10^5 + 6 \cdot 10^5) \times 0.032 \frac{L}{\text{min}}}{10^5}$$

$$V_{CN} = 0.22 \frac{L}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1h} = 13.44 \frac{L}{h}$$

Dimensionamiento para los cilindros de doble efecto:

Figura 60.

Áreas de cilindro de doble efecto.



A diferencia del cilindro de simple efecto, el cilindro de doble efecto debe ser analizado tanto para el avance como para el retroceso del émbolo, en el cual sus áreas efectivas son distintas. A continuación, se realizan los cálculos necesarios correspondientes a su dimensionamiento.

$$F_{\text{net}_a_{\text{avance}}} = (P \times A_1) - Fr \quad (18)$$

$$A_1 = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \quad (19)$$

$$F_{\text{net}_a_{\text{retroceso}}} = (P \times A_2) - Fr \quad (20)$$

$$A_2 = \left(\frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \right) \quad (21)$$

Donde:

F_r : Fuerza de rozamiento (N) (10%)

D: diámetro del émbolo

d: diámetro del vástago

Para detener las botellas dentro de cada estación, es necesario considerar la aplicación de una fuerza no superior a 40 N.

A continuación, se realiza el cálculo de la presión en base a la presión máxima requerida para detener la botella en cada estación, haciendo uso de las ecuaciones (19) y (21).

$F \leq 40\text{N}$

$$A_1 = \left(\frac{\pi \times 0.009^2}{4} \right) = 6.36 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$A_2 = \left(\frac{\pi \times (0.009^2 - 0.006^2)}{4} \right) = 3.53 \times 10^{-5}$$

$$P_{avance} = \frac{F_{teórica}}{A_1} \quad (22)$$

$$P_{avance} = \frac{40N}{6.36 \times 10^{-5} m^2}$$

$$P_{avance} = \frac{40N}{6.36 \times 10^{-5} m^2}$$

$$P_{avance} = 6.28 \times 10^5 \frac{N}{m^2} = 6.28 \text{ bar}$$

$$F_{teórica_retroceso} = (P \times A_2) \quad (23)$$

$$F_{teórica_retroceso} = (6.28 \times 10^5 \times 3.53 \times 10^{-5} m^2)$$

$$F_{teórica_retroceso} = (22.16N)$$

$$F_{neta_retroceso} = (P \times A_2) - Fr \quad (20)$$

$$F_{neta_retroceso} = 19.95N$$

- Dimensionamiento de la bomba de dosificación

La dosificación del producto debe ser efectuada en un tiempo inferior a 4 segundos y la cantidad de volumen entregada en este tiempo es de 75 ml.

Por lo tanto, la base de la capacidad mínima requerida en litros por minuto (LPM) de la bomba es de:

$$\frac{75ml}{4s} = 18 \frac{ml}{s} \times \frac{1L}{1000ml} \times \frac{60s}{1min} = 1.08 \frac{L}{min} \quad (24)$$

El valor mínimo de litro por minuto calculado, corresponde a que la bomba debe sobrepasar este nivel de capacidad para cumplir con la cantidad de producto entregado.

Además, es necesario considerar las características físicas del material que va a ser transportado (gel antibacterial).

En la tabla se muestra las características propias del material.

Tabla 17.

Propiedades del gel antibacterial Bio-Comfy.

Característica	Cantidad	Unidad
Alcohol	70	%
pH	6.54	
Densidad	921.85	Kg/m ³
Viscosidad	9.000	Cps
Costo	1.11	\$/Kg

En base a las características propias del material, se calcula el valor SG (gravedad específica γ).

La gravedad específica de cualquier fluido se define como la relación que existe entre la densidad del fluido con respecto a la densidad del agua.

$$\gamma = \frac{\rho_{gel_antibacterial}}{\rho_{agua}} \quad (25)$$

De esta manera se obtiene:

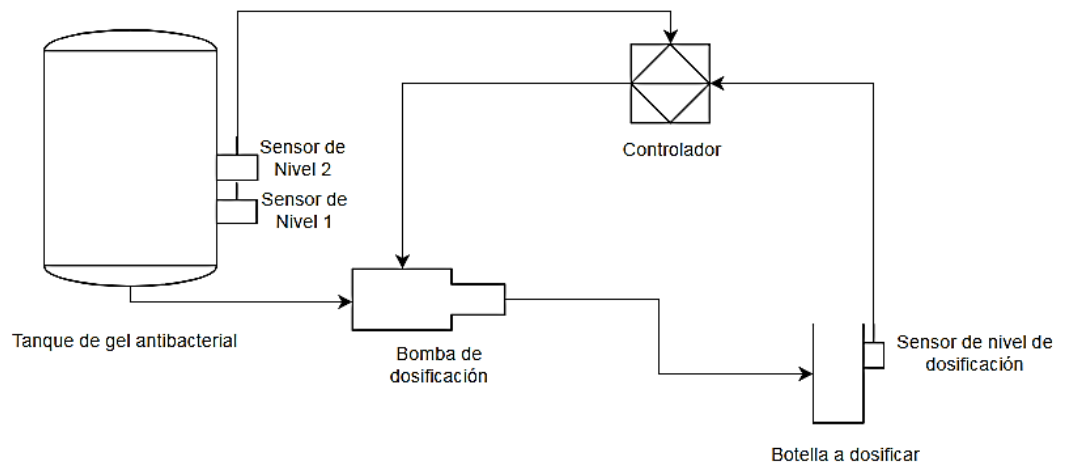
$$\gamma_{gel_antibacterial} = \frac{921.85 \frac{Kg}{m^3}}{998 \frac{kg}{m^3}} = 0.92$$

Elaboración de diagramas de control para los elementos del sistema.

A continuación, se presentan los diagramas requeridos para el prototipo automatizado.

Figura 61.

Diagrama de control para el proceso de dosificación



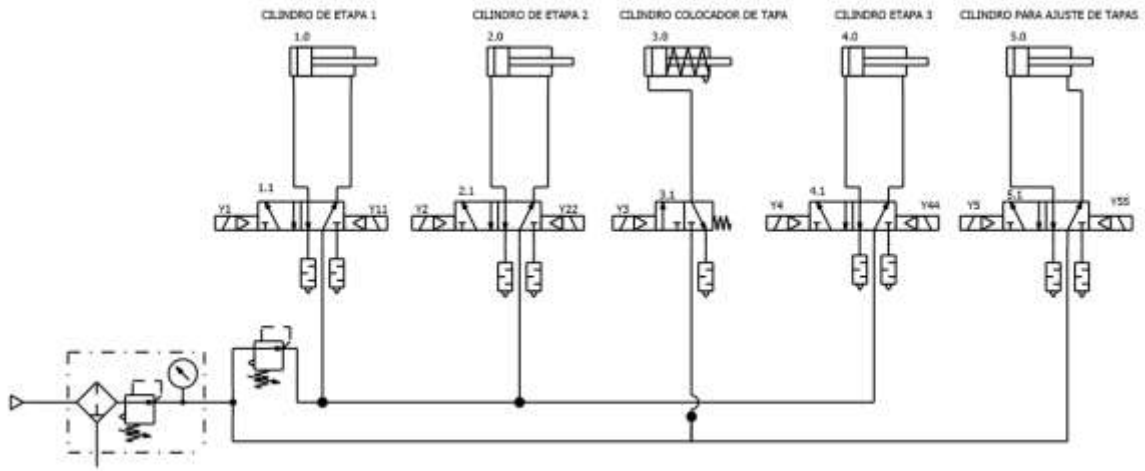
El sistema de control correspondiente a la dosificación se muestra en el diagrama, donde el sensor de nivel de dosificación es utilizado para verificar la cantidad de producto inducido dentro del envase.

Dentro del sistema se realiza una serie de operaciones controladas mediante activación on-off del sistema neumático, que sirve para accionar el resto de componentes del circuito, para el llenado y tapado de envases de gel antibacterial.

A continuación, se presenta un diagrama, en el cual, constan los actuadores neumáticos encargados del movimiento operativo del sistema.

Figura 62.

Diagrama neumático del sistema



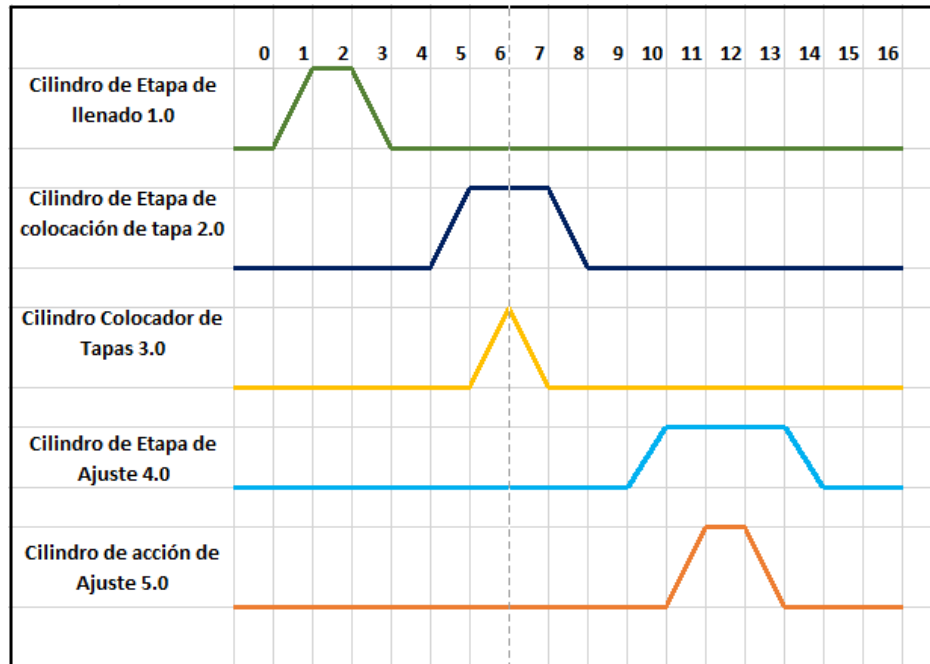
El sistema neumático del prototipo, consta de 5 cilindros neumáticos de los cuales 4 son de doble efecto y 1 de simple efecto, considerados de este modo de acuerdo a la disponibilidad técnica de los dispositivos.

La tarjeta **Ruuged Mega** es la encargada de controlar los elementos de mando que se activan de acuerdo a las señales obtenidas por los sensores en cada etapa del proceso.

A continuación, se describe el comportamiento de los cilindros neumáticos, mediante el diagrama espacio-fase, los cuales tienen un control eléctrico y se accionan secuencialmente de acuerdo al orden del proceso.

Figura 63.

Diagrama espacio - fase del circuito neumático.



El diagrama de espacio – fase, corresponde a los 5 actuadores utilizados dentro del sistema neumático, los cuales son representados en el siguiente orden:

Cilindro 1.0 Etapa de llenado.- Detiene a la botella dentro de esta etapa.

Cilindro 2.0 Etapa de Colocación de tapa. - Detiene a la botella dentro de esta etapa.

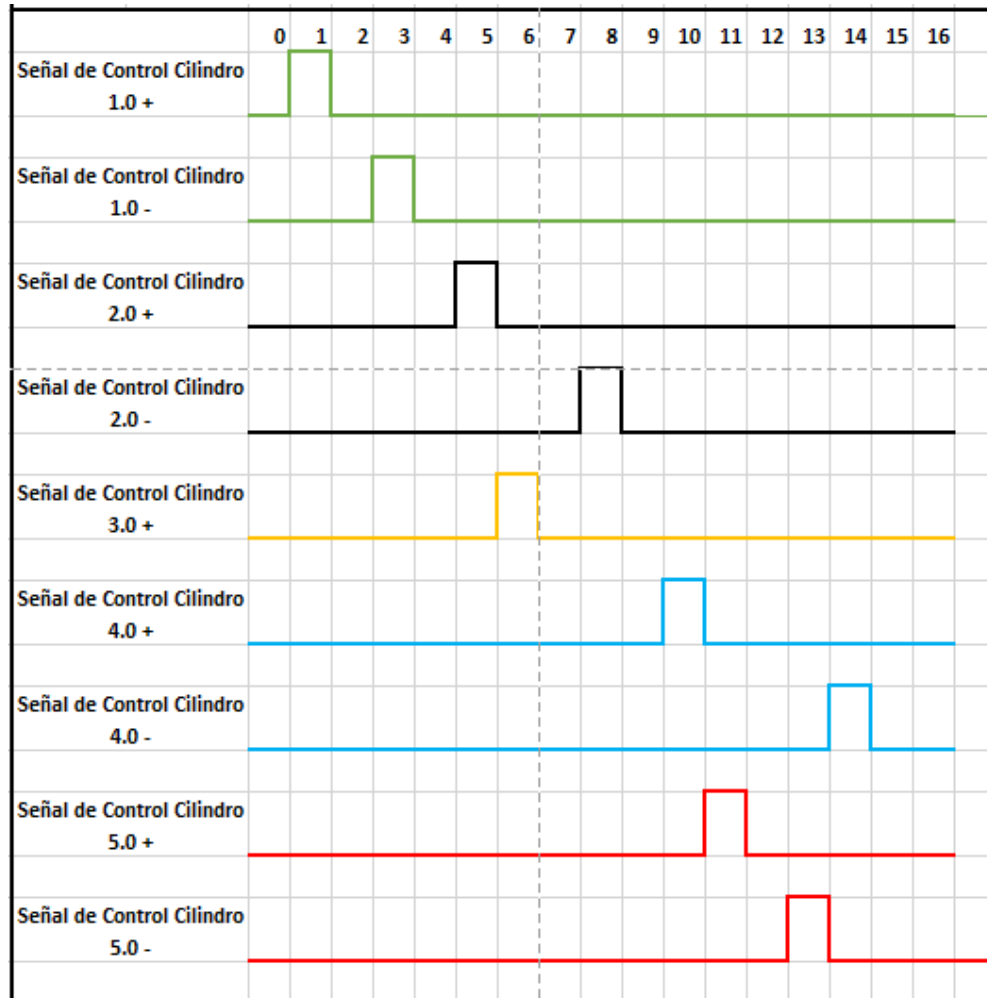
Cilindro 3.0 Colocador de tapa. - Conduce la tapa hacia la boquilla de la botella.

Cilindro 4.0 Etapa de ajuste. - Detiene a la botella dentro de la etapa de ajuste.

Cilindro 5.0 Ajustador de tapa. - Conduce al ajustador de tapa, hacia la posición de la tapa, previamente colocada.

Figura 64.

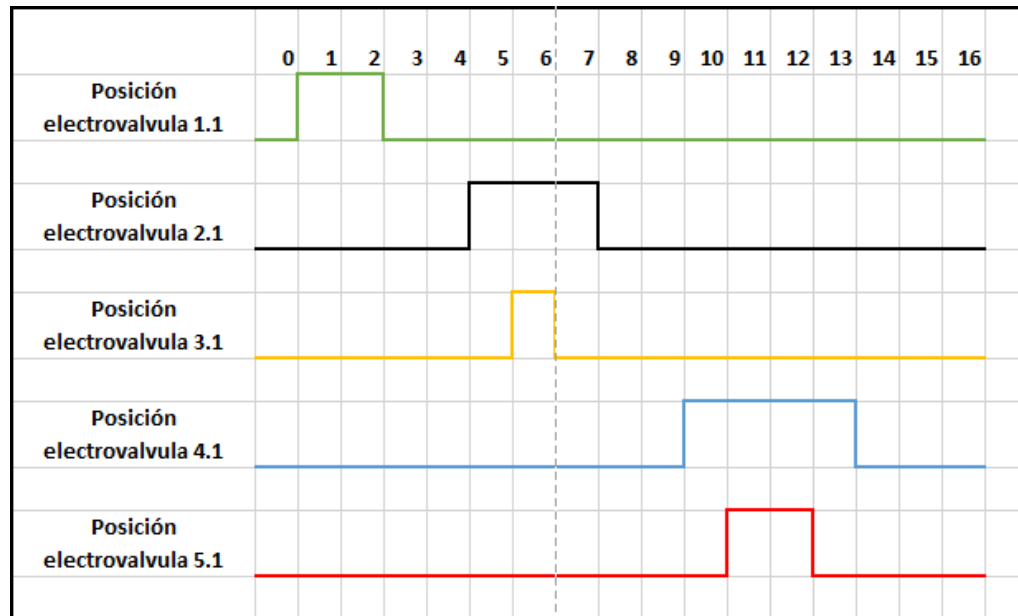
Señales de mando del circuito neumático.



Las señales de control emitidas por el controlador, corresponden a señales digitales de 0-5V. Los cuales activan los relés de mando y accionan los solenoides de las electroválvulas de cada componente.

Figura 65.

Posicionamiento de los elementos de control del circuito neumático.



Análisis de elementos de control disponibles en el mercado

Arduino Mega

La tarjeta Arduino MEGA 2560, posee un procesador ATMEL modelo ATmega 2560, que es un procesador de 8 bits tipo RISC que procesa 16 millones de instrucciones por segundo (MIPS) con un reloj a 16 MHz; una memoria de trabajo flash de 256K Bytes, 54 pines configurables como entradas o salidas, 16 entradas analógicas de 0 a 5 voltios con una resolución de 10 bits y frecuencia de muestreo de 10kHz (Kurniawan, 2019).

Figura 66.

Arduino mega 2560 R3 - vista frontal.



Nota. Adaptado de Arduino Mega 2560 A Hands-On Guide for Beginner, por (Kurniawan, 2019)

Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Con estas especificaciones de procesamiento y capacidad para manejar entradas y salidas digitales es válido plantear la automatización de pequeña escala con estos dispositivos, es decir, como sustituto de controladores industriales tales como los relés inteligentes, los nano y micro PLC.

Si se revisan las especificaciones técnicas del micro PLC modelo CPU 1212C (SIEMENS Corp., 2019), se ve que posee una memoria de trabajo de 50 K Bytes, procesa 10 MIPS y tiene 8 entradas y 6 salidas digitales, con 2 entradas analógicas, etc. Si se compara solamente la velocidad de procesamiento, cantidad de memoria y cantidad de entradas y salidas, el Arduino Mega es una opción superior a este PLC en particular. Sin embargo, estas no son las únicas variables que se deben analizar; el PLC tiene características a su favor, por ejemplo, las entradas están aisladas optoelectrónicamente, posee salidas a relés o a transistor de 24 voltios, tiene carcasas

plásticas con algún grado de protección IP. El software de programación utiliza lenguajes estandarizados definidos en la norma IEC 61131-3, -lo que facilita las modificaciones a los programas de automatización-, tiene respaldo del fabricante, certificaciones eléctricas UL, CE, etc., modularidad y expansión, manejo de protocolos industriales.

Bajo estas condiciones se puede afirmar que Arduino Mega es una buena alternativa para ser utilizada dentro del proyecto. Sin embargo, el entorno industrial aún como prototipo, exige más garantías y prestaciones de hardware, es por eso que, a pesar de ser una placa con características muy buenas en procesamiento computacional, no será utilizada como una alternativa directa en este proyecto de automatización.

Rugged Mega

Los productos Rugged Circuits están diseñados y fabricados con circuitos de protección incorporados y características de mejora del rendimiento que los colocan a un nivel superior a los dispositivos Arduino estándar (Rugged Circuits, 2019).

Figura 67.

Rugged mega-vista frontal superior.



Nota. Adaptado de Arduino Mega 2560 A Hands-On Guide for Beginner, por (Kurniawan, 2019)

Tomada de Aplicaciones con Arduino.

La circuitería ha sido modificada para proteger contra la descarga electrostática (ESD), voltaje inverso, sobre / bajo voltaje, sobre / bajo escenarios actuales que ocurre dentro del entorno del producto y / o por error del usuario (Rugged Circuits, 2019).

Figura 68.

Rugged mega vista posterior.



Nota. Adaptado de Arduino Mega 2560 A Hands-On Guide for Beginner, por (Kurniawan, 2019)

Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Rugged MEGA es directamente compatible con Arduino Mega, MEGA2560 y otras placas compatibles. Utiliza el mismo microcontrolador (ATmega2560), la misma GUI de Arduino, la misma frecuencia de reloj, los mismos conectores y las mismas posiciones de conector, lo que también lo hace compatible con los protectores diseñados para Arduino Megs. Una gran variedad de protección en los pines analógicos 0-15, pines digitales 0-21, diodos TVS de baja capacitancia, montajes de riel DIN integrados.

Se realiza una comparación de las tarjetas de control de bajo costo disponibles en el mercado, para la implementación del proyecto.

Estos controladores son: PLC Arduino ARDBOX, Rugged Mega, Arduino Mega.

Tabla 18.

Comparación técnica entre tarjetas de control de bajo costo.

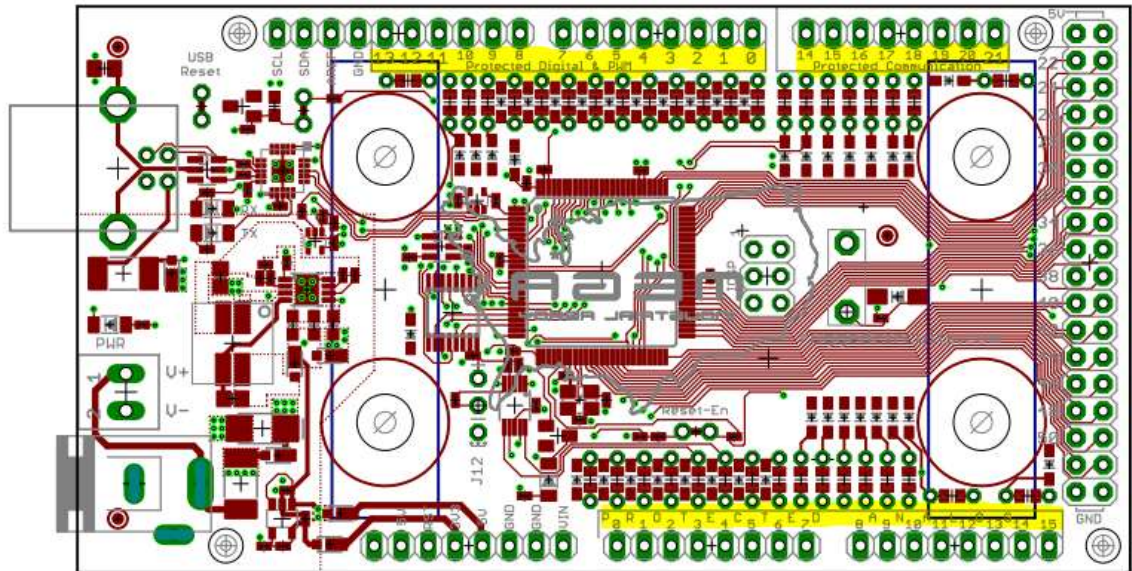
Tarjeta de Control	PLC ARDBOX	Arduino	Arduino 2560	Mega	Rugged Mega
Microcontrolador	ATmega 2560		ATmega2560		ATmega2560
Voltaje de operación	5v		5v		5v
Voltaje de entrada	12-24VDC		7-12VDC		3.5V-30VDC
Pines digitales I/O	20		54		54
Pines digitales con salida PWM	7		15		15
Pines de entrada analógica	8		16		16
Entradas y Salidas Digitales protegidas	5		0		22
Entradas Analógicas protegidas	2		0		16
Corriente DC por I/O	-		20mA		20mA PTC
Corriente DC por el pin de 3.3V	-		50mA		300mA
Flash Memory	32KB		256KB		256KB
Protección de voltaje inverso Vin	-		-		Protegido sobre los 30V

Protección de corriente Vin	-	-	-	500mA con fusible de reinicio
Protección de salida del pin 3.3V	-	-	-	Resiste 30 V
Tarjeta de Control	PLC ARDBOX	Arduino	Arduino 2560	Mega Rugged Mega
Protección de salida de voltaje de 5V	-	-	-	Resiste 30V
Protección de Corriente en I/O	30mA	-	-	30 mA
Protección de Voltaje en I/O	24VDC	-	-	Resiste 24 v
Protección total de corriente en el Microcontrolador	-	-	-	Protección sobre los 150 mA
Temperatura de operación	0°C -60°C	-	-	-10 a +85°C
Protección por carga estática	NO	-	-	Diodo protector TVS
Protección de línea de datos	-	-	-	Diodo protector TVS
Costo	240 USD	30 USD	30 USD	99 USD

Rugged MEGA y Rugged MEGA-ET ofrecen las mismas excelentes características de protección que Ruggeduino-SE y ET. A continuación, se muestra un gráfico que indica los pines protegidos que están etiquetados como "Protegido Digital y PWM", "Comunicación protegida" y "Analógico protegido".

Figura 69.

Diagrama esquemático de Rugged Mega.



Nota. adaptado de Rugged Tech, por (Rugged Circuits b, 2019). tomada de <https://www.rugged-circuits.com/>

El Rugged MEGA fue diseñado para soportar errores eléctricos comunes.

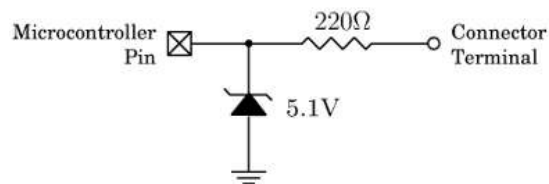
Esta sección describe los detalles de estos circuitos de protección.

Cada pin de E / S "protegido" tiene un diodo zener de 5.1V y 220 ohm 30mA

PTC (fusible reinicial). El circuito equivalente se muestra en esta figura.

Figura 70.

Circuito de protección de E/S.

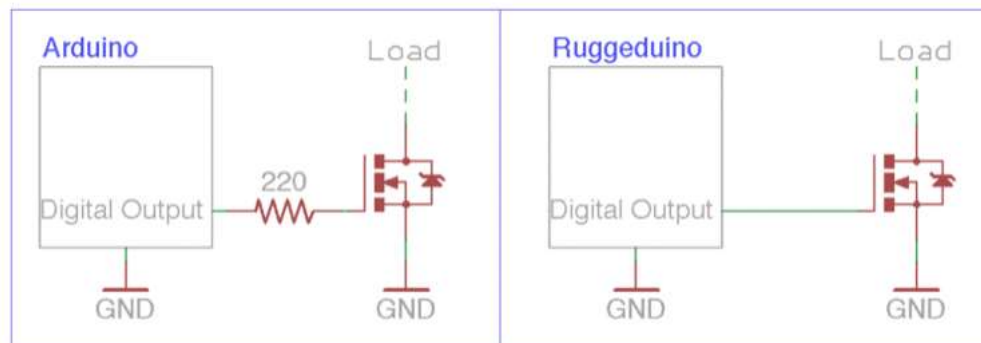


Este circuito de protección significa:

- Cada pin de E / S puede tener hasta 24 V aplicados y aún no sufrirá daños (solo 10 V para el MEGA-ET resistente).
- Cada pin de E / S puede cortocircuitarse a tierra y aún no sufrirá daños
- Cada pin de E / S se puede cortocircuitar a otro pin de E / S y aún no se dañará
- Además, el PTC de 220 ohmios puede tomar el lugar de las resistencias en serie en muchas aplicaciones, como la iluminación de LED, transistores de conducción, etc. Aquí hay un ejemplo de un Arduino que conduce un transistor a través de una resistencia en serie, y cómo Rugged MEGA o Ruggeduino simplifica el circuito debido a su resistencia en serie de 220 ohmios incorporada.

Figura 71.

Comparación de circuitos (a) con Arduino y Ruggeduino

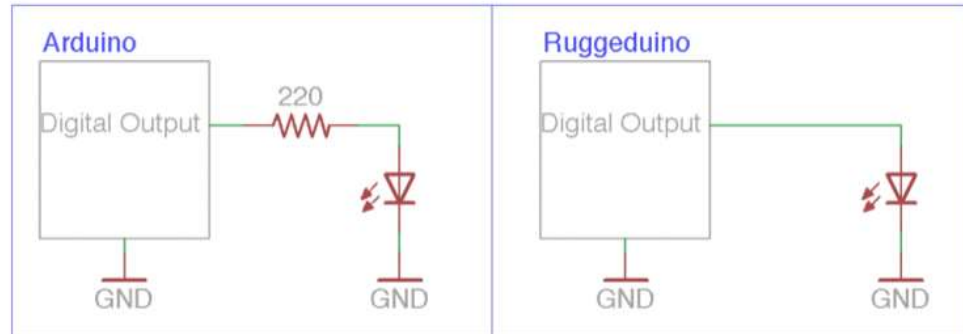


Nota. adaptado de Rugged Tech, por (Rugged Circuits b, 2019). tomada de <https://www.rugged-circuits.com/>

Del mismo modo, se puede conectar los LED directamente a las salidas digitales Rugged MEGA o Ruggeduino sin resistencias y no preocuparse por destruirlos debido a una corriente excesiva.

Figura 72.

Comparación de circuitos (b) con arduino y ruggeduino.



Nota. adaptado de Rugged Tech, por (Rugged Circuits b, 2019). tomada de <https://www.rugged-circuits.com/>

Los beneficios asociados con los circuitos de protección superan con creces cualquier problema relacionado con la compatibilidad.

En algunos casos, los componentes protectores, el PTC de 220 ohmios y el zener, pueden producir resultados ligeramente diferentes en comparación con los circuitos sin protección encontrados en Arduinos estándar. Esto puede ser una sorpresa inicial para el usuario, pero puede ser solventado con facilidad, como se muestra en el siguiente caso.

Aplicación: lectura / mapeo de voltaje de entrada analógica con divisor de voltaje de 68k y 12k para medir de 20 a 30VDC.

Resultados: con el microcontrolador Rugged Circuits todo es lineal y los valores son precisos hasta 20V. La precisión de más de 20V cae y a 29V lee 25 voltios. El divisor solo se mide a 3.9VDC a 29V.

Motivo y solución: el PTC de 220 ohmios y el zener están sesgando los resultados. Con una fuente de alta impedancia (divisor de voltaje de 68k + 12k), la fuga en el zener aumenta exponencialmente a medida que se acerca a 5.1V. Bajo ~ 3-4V,

debe haber muy poca fuga. A medida que aumenta a partir de ahí, el zener comienza a perder microamperios de corriente y hace que el circuito no sea lineal. Hay tres métodos para combatir esto: agregar un búfer de amplificador operacional entre el divisor de voltaje y el pin analógico, use un divisor de voltaje de menor impedancia o escale el voltaje de entrada para usar solo ~ 3V de la referencia y pierda una pequeña resolución. El primer método solucionará el problema por completo, el segundo ayudará y el tercero debería eliminar el problema.

Si se tiene una aplicación donde no se desea esta resistencia incorporada de 220 ohmios, se puede cambiar fácilmente. Cada pin de E / S tiene pines de orificio pasante que rodean su fusible PTC que pueden puentearse con un cable para resistencia 0 o con una resistencia estándar (Rugged Circuits b, 2019).

Elementos de Mando y Control

Se realiza una tabla con la descripción de las diferentes electroválvulas neumáticas que se presentan como alternativas para ser utilizadas dentro del prototipo. Se ha considerado el uso de marcas no reconocidas de acuerdo a la disponibilidad en el mercado.

Tabla 19.

Comparativa de electroválvulas por marcas.

Electroválvulas neumáticas	Marca	Voltaje		costo
5/2 monoestable	Metalwork	24VDC	1/8"	75USD
5/2 biestable	XCPC	110VAC	1/8"	50 USD
3/2	vuototecnica	110VAC	1/8"	45 USD
3/2	Festo	220VAC	1/4"	80 USD

Elemento de Maniobra y Control

El elemento de control que interviene en el proceso corresponde a relés de mando que deben ser activados por voltaje (5V). Para lo cual, se tienen dos alternativas: Relés de accionamiento mecánico (electromagnéticos) o relés de estado sólido, los cuales operan cumpliendo la misma función, aunque con una diferenciación en prestaciones como: larga duración, operación silenciosa, mínimo ruido, bajo consumo de energía, resistencia a choques y vibraciones, rápida conmutación, gran compatibilidad con sistemas de control, capaces de trabajar óptimamente en entornos hostiles, insensibles a las posiciones, y un costo promedio comparado con los relevadores electromecánicos.

A continuación, se muestra las dos alternativas en los elementos de maniobra y control.

Tabla 20.

Elementos de control y maniobra-relés.

Elementos de maniobra y Control	Voltaje de Conmutación	Corriente Máxima soportada	Voltaje de carga máximo	Velocidad de respuesta	Costo módulo 6 canales
Módulo de Relé mecánico (Electromagnético)	5V	10A	110VAC-220VAC	~1ms	15 USD
Módulo Relé de estado Sólido	5V	2A	110VAC-220VAC	~1ms	27 USD

Actuadores eléctricos

- Sistema Elevador

El sistema elevador requiere de un motor de bajo par motor y una velocidad aproximada de 100rpm de acuerdo a los cálculos realizados en la sección 3.8.1 (Dimensionamiento del motor eléctrico para el elevador del instrumento dosificador). Para lo cual se ha seleccionado como alternativa la utilización de un motor DC que cumpla con estas características.

A continuación, se realiza un cuadro con la alternativa de motores DC de la marca **Bringsmart**, para el sistema elevador.

Tabla 21.

Alternativas de motores DC para sistema elevador.

Motor DC	Modelo	Voltaje	RPM	costo
Motor Reductor	JGA25-370	9-12VDC	620	20 USD
Motor Reductor	JGA25-344	9-12VDC	99	18 USD

- Motor de la banda de transporte

A continuación, se presenta las diferentes alternativas del motor para la banda de transporte, de acuerdo a los cálculos realizados en la sección 3.8.1 (dimensionamiento del motor de la banda de transporte).

Los fabricantes de este tipo de motores son:

VTV y Casun.

Tabla 22.

Alternativas de motores para banda de transporte.

MOTOR	Descripción	Tipo	Potencia	Par
AC YN80	Asíncrono 220v	4polos	25W,30W	0.188Nm,0.22Nm
Nema 23 57HD4016-01	Paso a paso	2 fases	10W	1.2Nm
Motorreductor AC YN60	AC, Monofásico, asíncrono	Planetario	10W-50W	1-5Nm

Actuadores neumáticos

Existe una variedad de cilindros neumáticos en el mercado, sin embargo es necesario discutirlos de acuerdo a su tamaño, carrera y aplicación dentro del proceso.

Los cálculos del dimensionamiento se encuentran en la sección 3.8.1 (dimensionamiento de cilindros neumáticos).

Tabla 23.

Alternativas de cilindros neumáticos por fabricantes.

Cilindros neumáticos	Tipo	Carrera	Diámetro	Normativa	Costo
XCPC- MA6432	Doble efecto	30mm	25mm	ISO 6432	40 USD
VPC MAL-CA	Doble efecto	30mm	25mm	ISO 6432	70 USD
VPC MAL-CA	Simple efecto	40mm	30mm	ISO 6432	90 USD

Bomba dosificadora

En la actualidad existen varias alternativas para realizar el bombeo como la dosificación del producto, considerando las exigencias de un proceso sanitario.

Los dos tipos principales de bombas utilizadas en las industrias de proceso son centrífugas y de desplazamiento positivo de acuerdo a la investigación realizada con marcas y distribuidores reconocidos como: **Q-Pumps, Wilden Brochur, Chestert, EVASA.**

Al tratarse de un prototipo, no se tomarán en cuenta las exigencias sanitarias de la bomba, ya que esto elevaría notoriamente el costo de implementación del sistema.

A continuación, se presenta una comparativa de las alternativas de bombas de dosificación para el llenado de producto, tomando en consideración el material a envasar, las características propias del material y el dimensionamiento de la bomba ubicado en la sección 3.8.1.

A continuación, se describe las dos bombas presentadas como alternativas de bombeo en el proceso de dosificación y llenado: Bomba de diafragma marca **Xingqiu** y bomba de doble tornillo marca **Q pumps.**

Tabla 24.

Alternativas de bombas para la dosificación de producto.

Bomba de dosificación	Capacidad	presión	Voltaje	Viscosidad	Potencia	Costo
Bomba de diafragma	6L/Min	130PSI	12v	Hasta 11000 cP	72W	70 USD
Bomba de doble tornillo	30L/Min	150 PSI	220v	Hasta 1,000,000 cP	1/2HP	7600 USD

Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones.

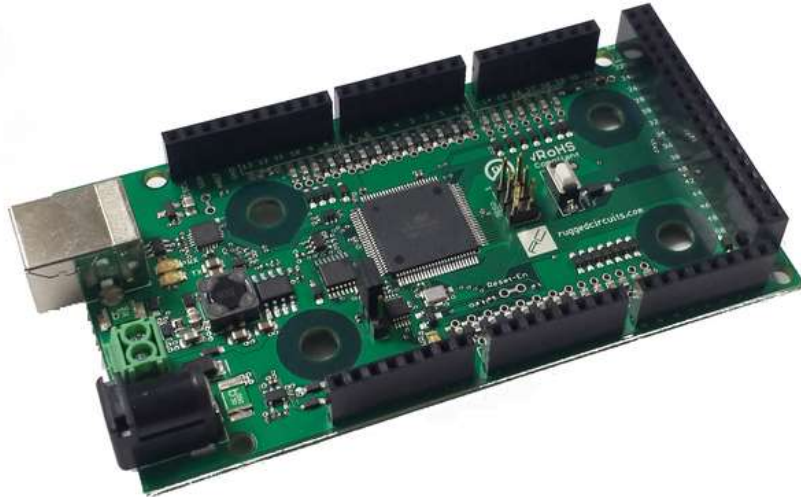
Para seleccionar los elementos y dispositivos de control a utilizar en el prototipo es necesario considerar lo determinado en los requerimientos, viabilidad y disponibilidad técnica, además de las prestaciones de cada elemento y necesidades del sistema.

Tarjeta de Control

La tarjeta de control a seleccionar es la tarjeta Rugged Mega, este controlador cumple con los requerimientos necesarios para ser utilizado en la realización del prototipo automatizado de llenado y tapado de gel antibacterial. Sus múltiples pines de entrada y salida, al ser un equipo robusto a nivel técnico, permite ser utilizado en un ambiente de trabajo con mayores exigencias.

Figura 73.

Tarjeta de control rugged mega 2560.



Nota. Adaptado de Arduino Mega 2560 A Hands-On Guide for Beginner, por (Kurniawan, 2019). Tomada de Aplicaciones con Arduino.

Elementos de mando y control

De acuerdo a la disponibilidad, costo y análisis técnico y dimensionamiento de los componentes se ha realizado la siguiente selección:

- 4 Electroválvulas 5/2 Biestable marca XCPC a 110VAC 3/8".

Tamaño de cuerpo: 300

Tipo de función: Biestable

Configuración: Cinco vías, dos posiciones (5/2)

Bobinas: 2 (doble solenoide)

Caudal: 1.68 CV (58 SCFM) (7.5 CFM @100 psig & 20 °C) (1650 NI/min) (222 l/min @100 psig & 20 °C)

Puerto de presión: G3/8" (3 puertos)

Puertos de desfogue: G1/4" (2 puertos)

Medio de trabajo: Aire filtrado por elemento de 40u

Accionamiento: Por solenoide & piloto interno o manual

Presión de trabajo: 21 – 114 PSI (0.15-0.8 MPa) (1.5 – 8.0 Bar)

Presión máxima a resistir: 167 PSI (1.2 MPa) (12 Bar)

Temperatura de operación: 5 – 50° C

Material del cuerpo: Aluminio aleado

Lubricación: Recomendada con aceite ISO VG32

Rango de voltaje: +-10%

Consumo de potencia AC: 2.5 VA DC: 2.5W

Aislamiento & clase de protección: Clase NEMA F e IP65 (NEMA4)

Conexión eléctrica: Por conector DIN 43650 B

Frecuencia de acción más alta: 5 Hertz

Tiempo de excitación más corto: 0.05 s.

- 1 Electroválvula 3/2 Monoestable marca Vuotecnica a 110VAC 1/8".

Caudal con aproximación a 6 bar:

-1/8: 740 NI/min.

Presión de ejercicio:

Monoestable: 2-10 bar.

Biestable: 1-10 bar.

Temperatura: -10° C a +60° C.

Materiales y componentes:

Cuerpo en aluminio anodizado y barnizado. Corredera en aluminio niquelado químicamente. Juntas en NBR.

Tensión bobina: 24V DC - 12V DC - 24V AC - 110V AC - 220V AC.

Potencia mínima: 2W - 3VA.

Figura 74.

Electroválvula neumática biestable.



Elementos de Maniobra y Control

Dentro de los elementos de maniobra se ha seleccionado el módulo de relés electromagnéticos, que poseen las características necesarias para operar en el sistema y existe una disponibilidad en el mercado a un bajo costo, aplicable para un prototipo.

Figura 75.*Mod-Relay-4CH-5V*

Nota: El gráfico representa la placa del banco de relés utilizado en la placa PCB.

La tarjeta de relé (relay) opto acoplada, incluye 4 canales para ser controlado en forma remota. El canal es controlado por una entrada TTL, la cual puede ser fácilmente comandada por un microcontrolador o Rugged Mega. Esta placa requiere de una alimentación de 5V.

Características: canal independiente protegido con opto acoplador, 4 Relés (Relays) de 1 polo 2 tiros, led indicador para cada canal (enciende cuando la bobina del relé esta activa). Los relés incorporados son capaces de manejar cargas de hasta 250V/10A. Cada canal posee aislamiento eléctrico.

Actuadores eléctricos

- Sistema Elevador

El motor seleccionado para cumplir esta operación es el motor DC JGA25-344 marca **Bringsmart**, el cual cumple con las condiciones técnicas requeridas por el proceso.

Figura 76.

Motor DC JGA25-344



- Motor de la banda de transporte

Aunque las alternativas son variadas. Algunos motores requieren de acondicionamiento mecánico para funcionar, lo cual implica intervención de poleas, cajas reductoras, etc. En esta ocasión tomando en cuenta el torque entregado por el motor a pasos **NEMA 23 57HD4016-01** marca **CASUN**, la fácil instalación y manejo, se ha considerado para la utilización en este proyecto.

Figura 77

Motor NEMA 23 paso 57HD4016-01 Casun.

**Características:**

Altura del Motor 54 mm, longitud del cable: 80cm, numero de Fases: 2, ángulo por paso: 1.8°, voltaje por fase: 5.2 VDC. Corriente: 2A, torque: 1.2Nm, resistencia por fase: 2.1 Ohm.

Actuadores Neumáticos

De acuerdo a las necesidades del proceso, dimensionamiento y la disponibilidad en el mercado de los actuadores neumáticos, se ha seleccionado los siguientes componentes.

- Cilindros Neumáticos de doble efecto (3): Marca XCPC-MA6432 de 30x25mm
- Cilindro Neumático de doble efecto (1): Marca VPC de 40x30 mm
- Cilindro Neumático de simple efecto (1): Marca VPC de 40x30 mm

Figura 78.

Cilindro de doble efecto XCPC-MA6432.

**Bomba de dosificación**

De acuerdo a la simplificación del proceso y el dimensionamiento realizado se busca una dosificación directa del producto, para lo cual se selecciona una bomba de desplazamiento positivo de diafragma de acuerdo a las especificaciones necesarias del material a dosificar.

- Aplicación: dosificación directa
- Fluido: Gel antibacterial
- Viscosidad: 9000 cP
- Temperatura: ambiente 15-28 °C
- Caudal >1.08 L / min.

La bomba eléctrica para la dosificación de producto seleccionada la VKTECH-0142YB-12-60

Figura 79.

Micro-bomba de diafragma 0142YB-12-60.

**Características:**

Modelo: 0142YB-12-60, Voltaje: 12 V, Potencia: 60 W., Presión de entrada: 0.2 MPa. Presión nominal: 0.8 MPa, Flujo (máx.): 5 l/min distancia de succión: 6.6 ft, elevación: 262.5 ft, alcance: 26.2 ft, vida útil del motor: 3-5 años, peso neto: 1.3 lbs aproximadamente, material: plástico, color: negro, medidas aproximadas: 6.5 x 3.7 x 2.4 in (largo x ancho x alto).

Driver regulador de voltaje

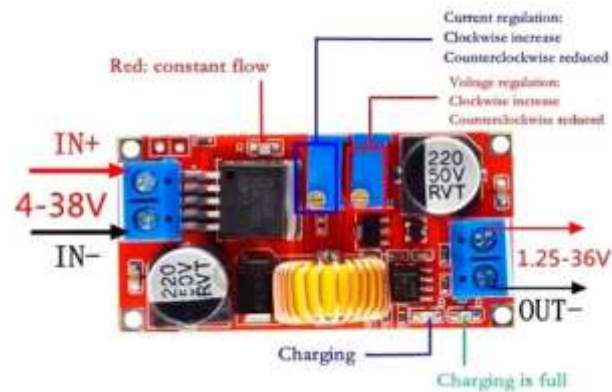
- Módulo XL4015 Convertidor DC-DC Step-Down 5 A

Este módulo es un reductor de voltaje ajustable. El voltaje de salida se puede cambiar ajustando la resistencia de precisión del módulo. La diferencia de voltaje entre entrada y salida es de 1 V, con un voltaje de salida mínimo de 0.8 V.

El módulo tiene 4 pines marcados por IN - (entrada negativa), IN + (entrada positiva), OUT- (salida negativa), OUT + (salida positiva) debe estar conectado correctamente, de lo contrario, podría provocar daños en el módulo.

Figura 80.

XL4015 convertidor dc-dc step-down 5 A



Nota: El gráfico representa la distribución de pines del convertidor step-down.

Este módulo es utilizado para regular y alimentar el sistema electrónico a 5V.

La selección de este módulo se enfoca a la capacidad para entregar la cantidad de corriente suficiente al circuito para operar con normalidad.

De este modo, se calcula la suma de las corrientes totales necesarias para funcionar, correspondientes a cada dispositivo como: sensores, actuadores, elementos de mando y elementos de control, los cuales estarán conectados paralelamente entre sí.

La corriente que se calcula a continuación, corresponde únicamente a los elementos que se encontraran conectados a 5V, como alimentación. Sin considerar los elementos que funcionan a un voltaje de alimentación externo. Como es el caso del motor de la banda de transporte y el motor de la bomba de dosificación.

$$I_{total} = I_{sensores} + I_{drivers} + I_{elementos_control} + I_{dispositivos} + I_{carg_adicional} \quad (29)$$

De acuerdo a las especificaciones técnicas se tiene:

Tabla 25.

Consumo de corriente de sensores del sistema.

Nombre	ID	Corriente Consumo	de
Sensor de posición1	S1	25mA	
Sensor de posición2	S2	25mA	
Sensor de posición3	S3	25mA	
Sensor de tapas	ST1	25mA	
Sensor de Nivel de Gel 1	SN1	5mA	
Sensor de Nivel de Gel 2	SN2	5mA	
Sensor de dosificación	SD	5mA	

Nota: La tabla muestra los valores de corriente considerados para el consumo de corriente del circuito.

Tabla 26.

Consumo de corriente de cargas del sistema.

Nombre	Cantidad	Consumo	Corriente de Consumo Total
Drivers	1	500mA	500mA
Elementos de mando	10	100mA	1000mA
Elementos de control	9	20mA	180mA
Dispositivos(Pantalla)	1	500mA	500mA
Cargas adicionales	-	500mA	500mA

Nota: La tabla muestra los valores de corriente considerados para el consumo de corriente del circuito.

$$I_{total} = 115mA + 500mA + 1000mA + 180mA + 500mA + 500mA$$

$$I_{total} = 2.795A$$

Por lo cual se selecciona un regulador de voltaje que logre cubrir con la demanda del consumo de corriente del circuito.

Especificaciones Técnicas

Tipo: Regulador de voltaje **Step-Down**

Serie: XL4015

Voltaje de entrada: 5 a 32 Volts DC

Voltaje de salida: 5 a 30 Volts DC

Corriente de salida: 0 a 5 A como máx., se recomienda (usar disipador para corrientes mayores a 3.5 A)

Potencia de salida: 50 W

Eficiencia de conversión: 96% máx.

Regulación de carga: 0.5%

Regulación de voltaje: 2.5%

Frecuencia de Trabajo: 300KHz

Temperatura de Funcionamiento: -45°C a +85°C

Drivers para control de motores

Los drivers utilizados para accionar los motores DC y paso a paso se detallan a continuación de acuerdo a las especificaciones técnicas necesarias.

- L298N

El módulo L298N posee dos canales de Puente H, pudiéndolos utilizar para controlar dos motores DC o un motor paso a paso, controlando el sentido de giro y velocidad.

Básicamente está conformado por un driver L298N sus diodos de protección y un regulador de voltaje de 5V (78M05).

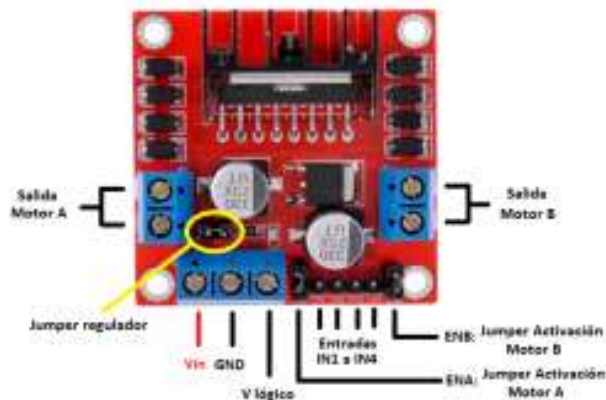
Posee un conector de 6 pines para ingresar las señales TTL para controlar los motores, una bornera de tres pines para la alimentación, y dos borneras de 2 pines para la salida a los motores.

La selección de este driver, corresponde a sus características técnicas y su versatilidad de uso, ya que permiten realizar el control y giro del motor únicamente modificando sus entradas digitales.

La carga soportada corresponde a un motor DC de 12VDC con un consumo máximo de corriente de 4A, para la bomba de dosificación. Mientras que para el motor DC para la elevación del instrumento dosificador es un motor 12VDC con un consumo de corriente de 300mA.

Figura 81

MÓDULO L298N



Nota: El gráfico representa la descripción de pines del driver L298N.

Existen dos formas de alimentar el módulo:

1. Utilizando una sola fuente, conectada a la entrada de 12V y con el Jumper para habilitar el regulador, aclarando que el voltaje de la fuente es el que soporta el motor. De esta forma la entrada de 5V no debe estar conectada a ninguna fuente, ya que en este pin están presentes 5V a través del regulador interno; se puede utilizar este pin como una salida de 5V, pero sin exceder los 500mA de consumo. Se recomienda hacer esta conexión para voltajes menores de 12V para no sobrecalentar el regulador

2. Utilizando dos fuentes, una de 5V conectada a la entrada de 5V (puede ser los 5V de un Arduino) y otra fuente con el valor del voltaje que trabaja el motor, conectada al pin de 12V. Para esto se tiene que desconectar el *jumper* lo que deshabilitará al regulador.

Para el control del módulo:

Los pines ENA, IN1, IN2 corresponden a las entradas para controlar el MOTOR A (OUT1 y OUT2)

De igual manera ENB, IN3, IN4 permiten controlar el MOTOR B (OUT3 y OUT4)

ENA y ENB, sirven para habilitar o deshabilitar sus respectivos motores, generalmente se utilizan para controlar la velocidad, ingresando una señal de PWM por estos pines. Si no se usan se deben de conectar los Jumper para que siempre estén habilitad

- HY-DIV 268N -5A

Driver basado en el chip TB6600 es un módulo controlador de motor paso a paso de tipo bipolar que permite varios modos micro-paso (1,1/2, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 paso). Compatible con motores de 12V a 48V DC. Corriente de excitación máxima 5A. Utiliza el control de subdivisión de bucle de corriente. El rizado del par de torque del motor es muy pequeño, baja velocidad de funcionamiento muy suave, tiene protección contra sobre voltaje, bajo voltaje, sobrecorriente y cortocircuitos. Temperatura de funcionamiento: -10 a 45 °C.

Control

PUL: Cada pulso a su entrada corresponde a un paso del motor.

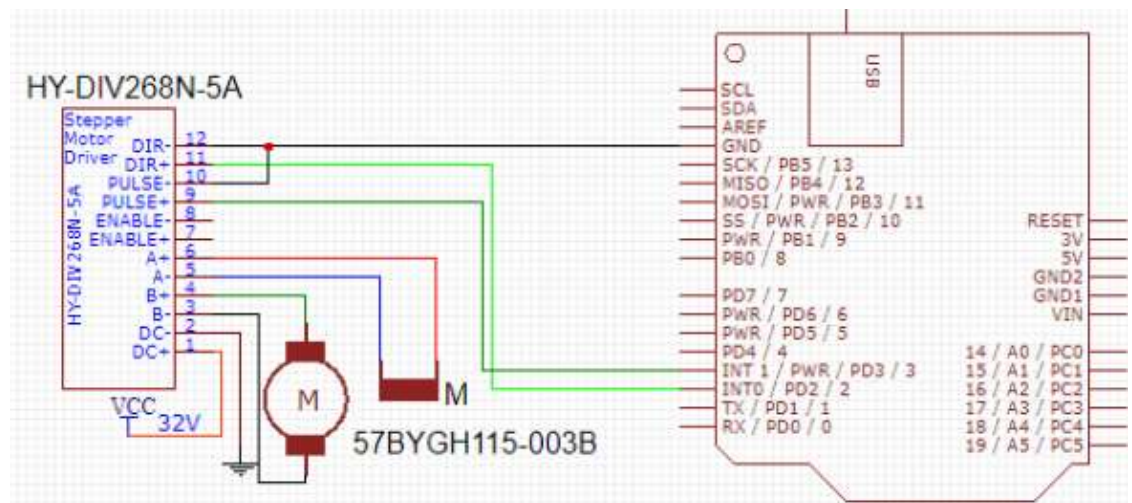
DIR: Activa el sentido de giro del motor dependiendo del estado.

El uso de este driver es necesario debido a que, para efectuar movimiento del motor se requiere de una etapa de potencia que entregue una cantidad mínima de corriente para que se genere el campo magnético necesario, para lograr mover el motor.

De acuerdo a las especificaciones del motor, se requiere una corriente de 2.5 A, por lo cual se selecciona un controlador que pueda cubrir con el nivel de demanda de corriente necesaria. En el caso del módulo HY-DIV 298N -5A, es capaz de cubrir cargas de hasta 5 A.

Figura 82.

Diagrama de conexiones del módulo HY-DIV 268N -5A



Nota: El gráfico representa el diagrama de conexión del driver HY-DIV 268N-5ª.

Configuración del interruptor de control de corriente y la subdivisión de los pasos

Figura 83

Panel de configuración del módulo HY-DIV 268N -5A.



Nota: El gráfico representa la configuración del driver HY-DIV268N-5A utilizada en el proyecto.

Mediante el **dip switch** se configura la intensidad de corriente requerida por el motor, y los micro pasos necesarios para su funcionamiento.

Ingeniería Básica para la Interfaz Humano Máquina

Análisis y revisión de pantallas para interfaces HMI.

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) es la interfaz entre el proceso y los operadores, básicamente un panel del operador. Es la herramienta principal con la cual los operadores y los supervisores de la línea coordinan y controlan los procesos industriales y de fabricación en la planta.

La interfaz HMI consta de una pantalla de visualización y su tamaño puede variar según la aplicación y requerimientos del sistema.

En la actualidad existen de diferentes tamaños, marcas y tecnologías. Entre las más populares son la de tecnología de transistor de película delgada (TFT).

Algunos fabricantes, restringen el uso de sus productos, limitando la compatibilidad de sus componentes con dispositivos de la misma marca. Lo cual en algunas ocasiones dificulta su uso independiente en aplicaciones industriales.

Entre las características necesarias requeridas para ser utilizadas en este proyecto son:

- Tamaño: 7 pulgadas o más
- Comunicación: Serial RS232, I2C
- Tipo de tecnología: TFT
- Software de programación libre.

Análisis de equipos y software HMI disponible en el mercado

En el mercado existen algunas alternativas, para implementar interfaces HMI. A continuación, se muestra las alternativas más representativas y que se ajustan a las necesidades del proceso.

Tabla 27.

Comparación entre pantallas para interfaces HMI de bajo costo.

Pantalla HMI	DELTA DOP-B07S(E)415	NEXTION NX8048T070_011
Tipo	TFT	TFT
Tamaño	7 pulgadas	7 pulgadas
Resolución de pantalla	800x480	800x480
Colores	65536	64k 65536
Comunicación	RS232	SERIAL
Soporta SDHC	Sí	SI
Soporta Ethernet	Sí	SI- AGREGANDO UN MÓDULO
Soporta salida de audio	Sí	NO
Software de diseño	DOPSOFT	NEXTION EDITOR
Costo	195 USD	107 USD

Nota: La tabla muestra la comparativa entre pantallas HMI de bajo costo.

Selección y análisis de software para el diseño de Interfaces HMI

DOPSoft

El software de configuración actualizado proporciona funciones completas y una interfaz de fácil manejo.

Figura 84.

Interfaz de usuario DOPSOFT.



Nota: El gráfico representa la interfaz de usuario del software DOPSOFT.

- Barra de Herramientas (1)

Acciones como editar, guardar, cargar y compilar puede ejecutarse fácilmente simplemente haciendo clic en los iconos atractivos y fáciles de ver en la barra de herramientas.

- Ventana de herramienta de elementos (2)

La ventana de herramientas de elementos ofrece una amplia variedad de iconos de elementos para la selección. Usa el mouse para seleccione el icono del elemento deseado y arrástrelo a El lugar de trabajo para crear un nuevo elemento.

- Ventana de salida (3)

La ventana de salida muestra todas las acciones de edición y envía mensajes cuando la función de compilación es habilitada. Una vez que ocurre un error, los mensajes de error también se muestran a través de esta ventana.

- Barra de herramientas de diseño (4)

La barra de herramientas de diseño permite realizar acciones sofisticadas de diseño gráfico.

- Tabla de propiedades (5)

La tabla de propiedades muestra la propiedad del elemento y permite ajustarlo a conveniencia.

Nextion Editor

Nextion Editor es un software de desarrollo de GUI de interfaz hombre máquina (HMI) gratuito para **Nextion Basic Series**, **Enhanced Series** y **Intelligent Series**. El último Nextion Editor ver 1.60.2.

Figura 85

Interfaz de usuario Nextion editor.



Nota: El gráfico representa la interfaz de usuario del editor Nextion.

- Nuevos componentes creativos

Pueden crearse funciones de animación, menú desplegable y deslizamiento, texto táctil. Además, se pueden acoplar funciones de reproducir videos y audio.

- Diseño GUI rápido

La innovación es la fuerza impulsora de Nextion. Con la configuración del atributo de grado de transparencia para el efecto visual de contraste de opacidad y translucidez, el contenido de la GUI se puede resaltar y enfocar para la experiencia del usuario y la mejora de la interacción.

Selección y análisis de pantallas HMI y software de diseño.

Un aspecto muy importante al momento de seleccionar el hardware de la interfaz HMI, es considerar la manera en que se va a llevar a cabo la comunicación entre el dispositivo y el controlador.

Un beneficio encontrado en las pantallas Nextion es la existencia de varias librerías que permiten interactuar con la pantalla de manera directa, omitiendo la necesidad de integrar módulos externos de comunicación o crear código fuente para enlazar los dispositivos.

Además, la constante innovación de Nextion, facilita al usuario crear y diseñar interfaces en un menor tiempo de trabajo.

Figura 86.

Pantalla Nextion NX8048T070_011



Nota: El gráfico representa la pantalla TFT Nextion básica de 7 pulgadas.

Las características técnicas, prestaciones, disponibilidad, facilidad de uso y precio hacen de este dispositivo sea una muy buena alternativa, para ser usado en el proyecto en curso.

Capítulo 4

Ingeniería de detalle

Ingeniería de Detalle para el Sistema de Instrumentación

Levantamiento de los diagramas eléctricos de conexión y montaje.

A continuación, se muestran los planos eléctricos multifilares (**ANEXO A**) que se necesitarán para el montaje de cada uno de los sensores que fueron seleccionados

en el sistema de instrumentación del prototipo automatizado de llenado y tapado de producto. Donde se detalla las conexiones de alimentación, conexión de equipos y conexión con el controlador.

Diagramas eléctricos para los instrumentos de medida utilizados en el prototipo automatizado.

Esta etapa constará con instrumentos que medirán nivel y detectarán la presencia de la botella en cada estación del prototipo.

Además, con un final de carrera en el elevador de la boquilla del dosificador, calibrado para determinar la altura adecuada de la ubicación del sensor, para establecer el nivel de llenado en el producto y un sensor detector de tapas dentro de la torre de almacenamiento, que determina la disponibilidad de tapas para llevar a cabo la producción requerida.

Cada una de estas señales ingresa a la placa PCB diseñada previamente con el módulo Rugged Mega y controlador Mega 2560. A continuación, se detalla las conexiones de alimentación y entrega de señales de los siguientes elementos:

- Sensores Fotoeléctricos
- Sensores de Nivel
- Sensor fin de carrera

Los sensores fotoeléctricos y de nivel poseen una conexión de tres hilos los cuales corresponden a la siguiente configuración: VDD, GND y señal.

La fuente de energía que estará conectado a los sensores desde la placa PCB corresponde al módulo de regulación de voltaje "XL4015 Convertidor DC-DC **Step-Down**". El cual entregará una alimentación nominal de 5V/5A.

Las conexiones se presentan en el **Anexo A**.

Ingeniería de Detalle para el Sistema de Control

Diseño del software y lógica de control del sistema de control

La lógica de control del sistema tiene un diseño modular. Cada función es llamada de acuerdo a la secuencia organizada del proceso.

El proceso de dosificado posee dos funciones en la cual, la primera denominada DOSIFICACIÓN POR TIEMPO; realiza un llenado por tiempo (previamente calibrado) a su máxima potencia, para conseguir un llenado rápido. Posteriormente el sensor lee el nivel y permite determinar si se ha cumplido con la cantidad mínima requerida de producto, caso contrario se activa la "RECTIFICACIÓN", que permite completar el nivel de material requerido con una velocidad moderada.

Los fines de carrera de la etapa de llenado, han sido acoplados directamente a las señales de control que comandan el módulo del motor DC.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo mediante el cual opera el sistema. Cabe mencionar que el algoritmo ha sido validado previamente mediante la ayuda del software de simulación DFD, el cual permite evaluar la lógica de control para posteriormente ser llevado al lenguaje de programación C++.

Figura 87.

Diagrama de flujo de la etapa de dosificación.

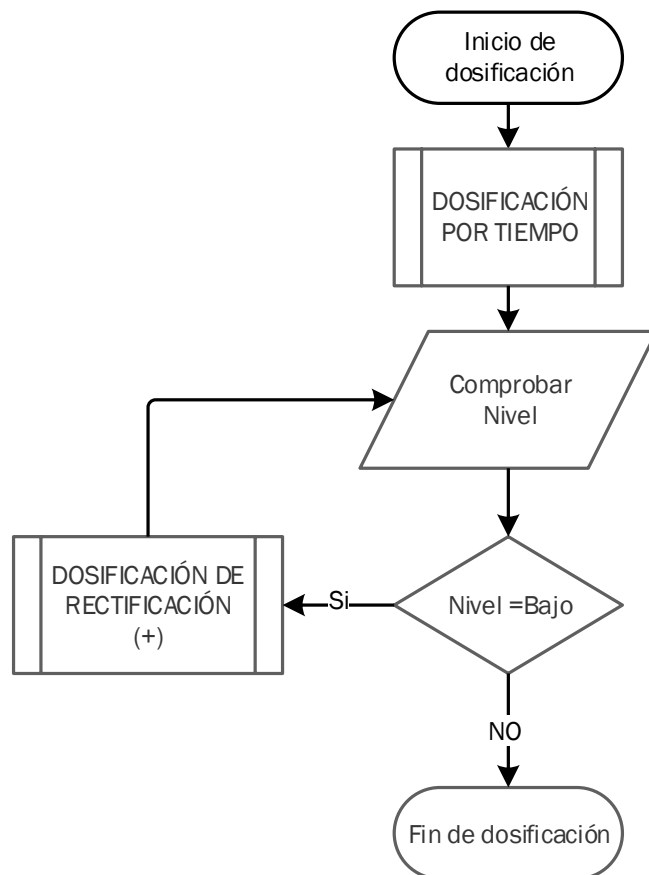


Figura 88.

Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas de gel antibacterial.

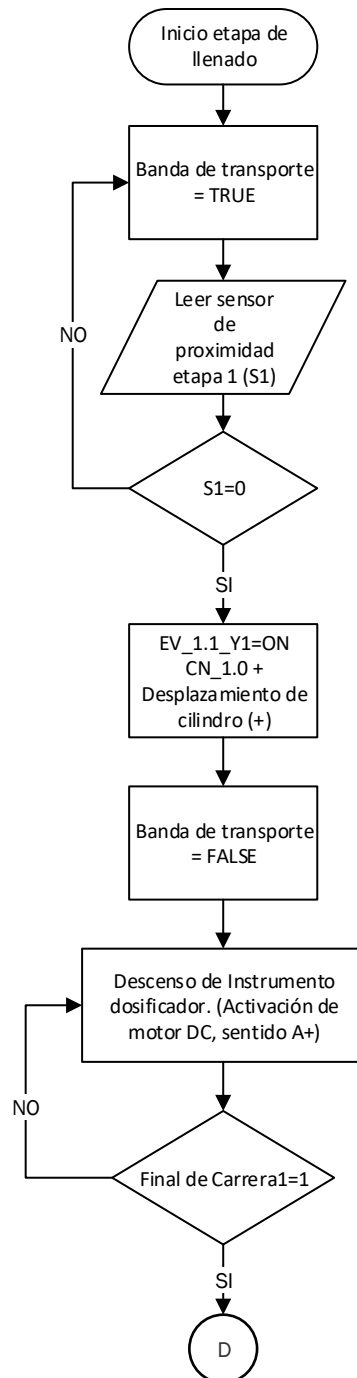


Figura 89.

Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas de gel antibacterial.

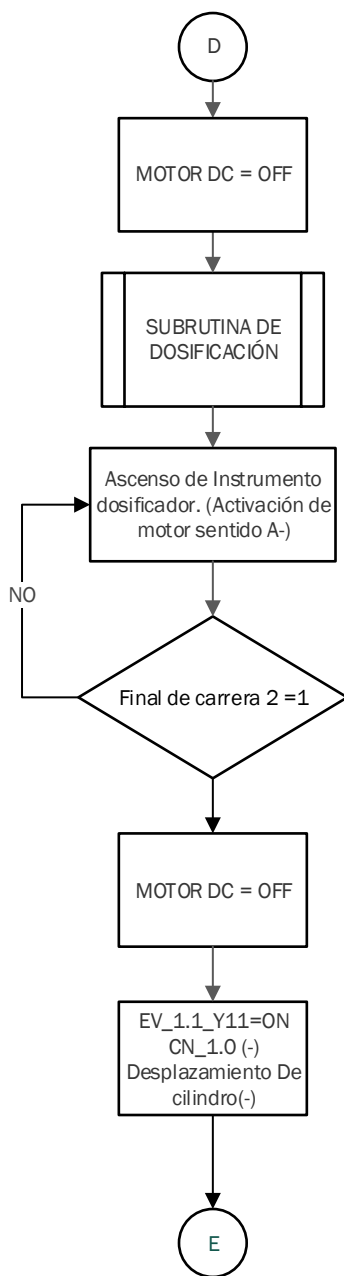


Figura 90.

Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas de gel antibacterial.

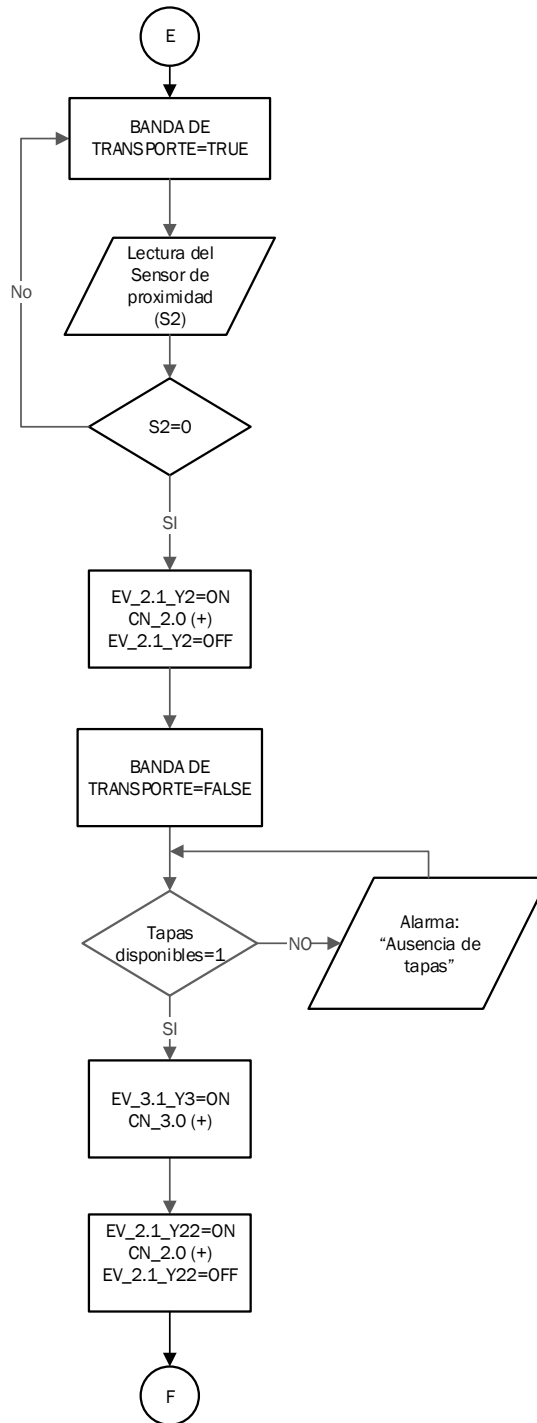
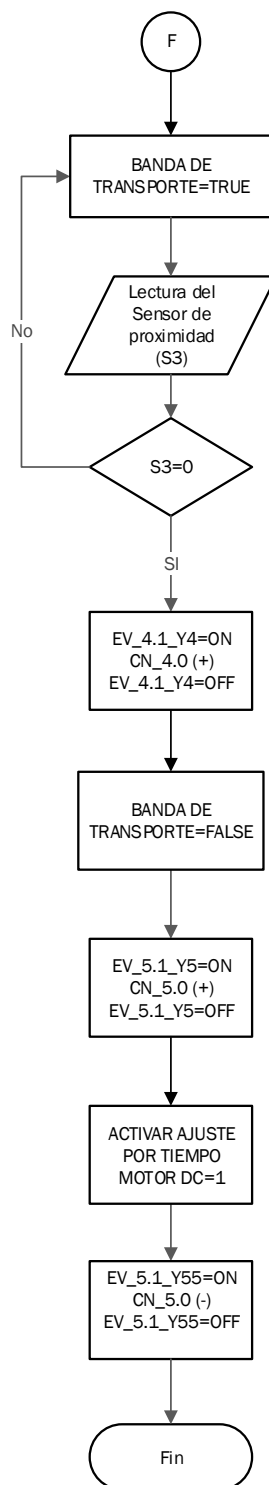


Figura 91.

Diagrama de flujo del proceso de llenado y tapado de botellas de gel antibacterial.



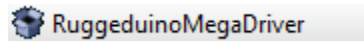
Programación del Sistema

La programación del sistema es desarrollada mediante líneas de instrucciones en el IDE de Arduino. Para lo cual se debe configurar correctamente el dispositivo Rugged Mega con los drivers de comunicación:

Esta información se encuentra disponible en la página oficial del dispositivo: <https://www.rugged-circuits.com/mega-tech>.

Figura 92.

Icono del driver de conexión serial rugged mega.



El lenguaje de programación utilizado para programar el dispositivo Rugged Mega es C++.

Las herramientas necesarias para programar los microcontroladores AVR de Atmel perteneciente a Rugged Mega están incluidas en el IDE de Arduino.

Arduino ofrece una API o CORE que facilitan la programación de los pines de entrada y salida y de los puertos de comunicación, así como otras librerías para operaciones específicas. El propio IDE ya incluye estas librerías de forma automática y no es necesario declararlas expresamente.

Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo

Diseño Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La función de la HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real, proporcionando gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al proceso.

Para el diseño de la Interface Humano-Máquina (HMI) se hizo una revisión conceptual de la guía GEDIS y la norma ISA SP101 con el fin de determinar una estrategia de diseño para las interfaces gráficas que cumplan con los requerimientos tanto de la guía como de la norma mencionada.

Propuesta de diseño

La realización de la Interface Humano-Máquina en el proyecto tiene el objetivo de permitir que el usuario o el operador del sistema, sea capaz de solicitar un pedido mediante el ingreso de un valor entre 0-20. Este valor es establecido mediante la capacidad máxima de suministro disponible para que la máquina opere continuamente sin interrupciones.

Además, el operador podrá ser notificado del estado del proceso, de la cantidad de producto realizado y de las alertas generadas por la falta de suministro de gel y tapas.

Criterios de diseño

Entre los criterios de diseño se ha considerado parámetros como la simetría y el equilibrio, con el objetivo de facilitar al operador la visualización de los datos y establecer diferencias entre ellos. Por tanto, se tomó en cuenta los siguientes puntos:

- Visibilidad: la información en la pantalla debe permitir la identificación de elementos gráficos tanto como el texto, con un tamaño adecuado para que el operario no confunda la información.

- Perceptibilidad: La identificación del estado del proceso debe ser fácil de identificar para que el operario tome acciones.

- Información: La pantalla tiene elementos que permiten dar información clara e intuitiva sobre el estado del sistema.

- Interactividad: La interfaz facilita accionar comandos al operario.

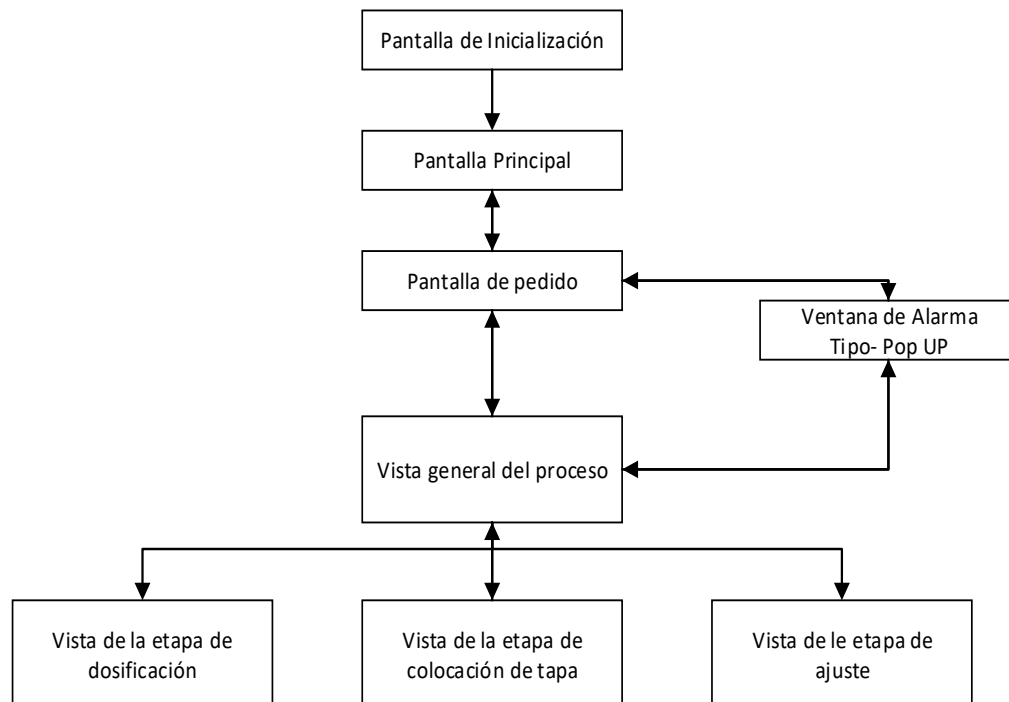
- Color: Contribuye a dar significado y relevancia a los procesos que se quieren destacar.

Arquitectura de pantallas HMI

A continuación, se describe la navegación de las pantallas de acuerdo a la arquitectura del diseño.

Figura 93.

Arquitectura de pantallas de interfaz HMI.



Nota: El gráfico representa la arquitectura de las pantallas utilizadas dentro del diseño de la interfaz HMI.

- Pantalla de Inicialización: En esta pantalla se presenta al inicio fotografías de la Empresa Bio-Comfy, el lugar donde está ubicada, su logotipo y parte de la imagen que proyecta la empresa. Esta pantalla

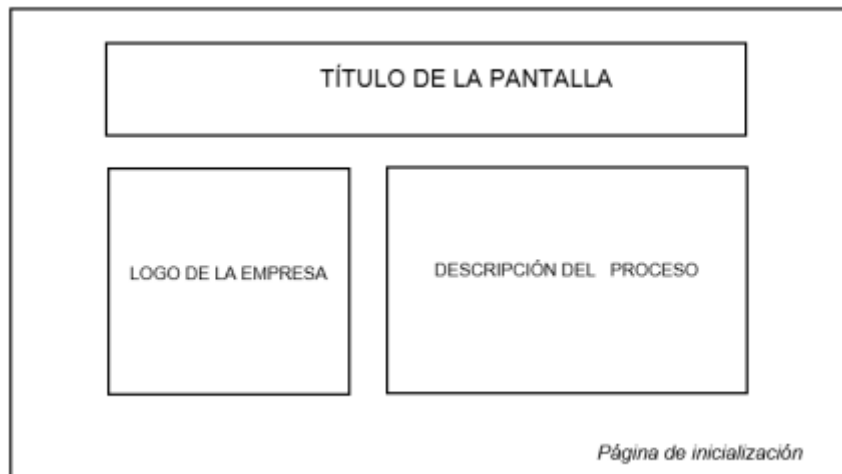
indica que el sistema se encuentra encendido permanecerá activo durante un tiempo 3000ms.

- Pantalla Principal: Cuenta con botón de ingreso de usuarios para que se pueda ingresar dos tipos de usuarios, el uno es el operario y el otro es el ingeniero, cada uno con su respectiva contraseña.
- Pantalla de pedido: En esta pantalla el operador, puede ingresar la cantidad de pedido requerido por la producción. El valor permitido de ingreso es de 0 a 20 unidades.
- Pantalla Vista General: En esta pantalla se puede visualizar todo el proceso de la planta de manera general, además, se tiene información resumida de cada uno de los procesos de la planta, en esta pantalla se podrá navegar por cada de las pantallas que contienen un proceso de la planta de tratamiento y también tendrá la opción de regresar a la pantalla principal.
- Pantalla de procesos: Las 3 pantallas de procesos tendrán la opción de navegar por todas las pantallas y mostrar información relevante de cada etapa del proceso.

Plantillas de las pantallas de la interfaz HMI

Figura 94.

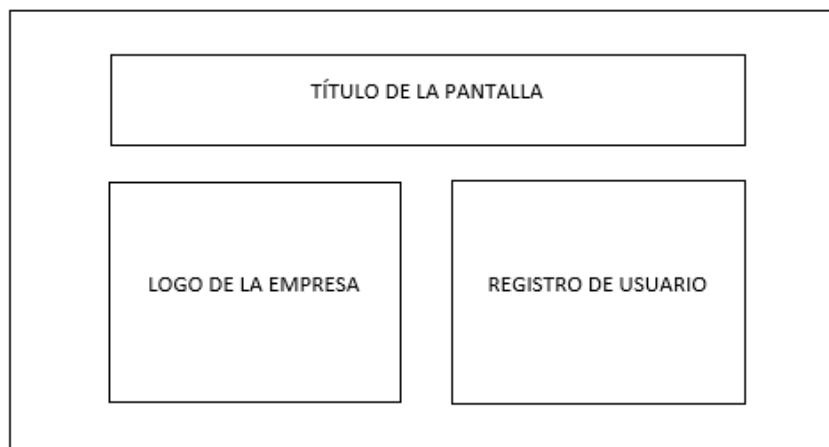
Plantilla de la interfaz de la pantalla de inicialización.



Nota: El gráfico representa las plantillas utilizadas para el diseño de la interfaz HMI.

Figura 95.

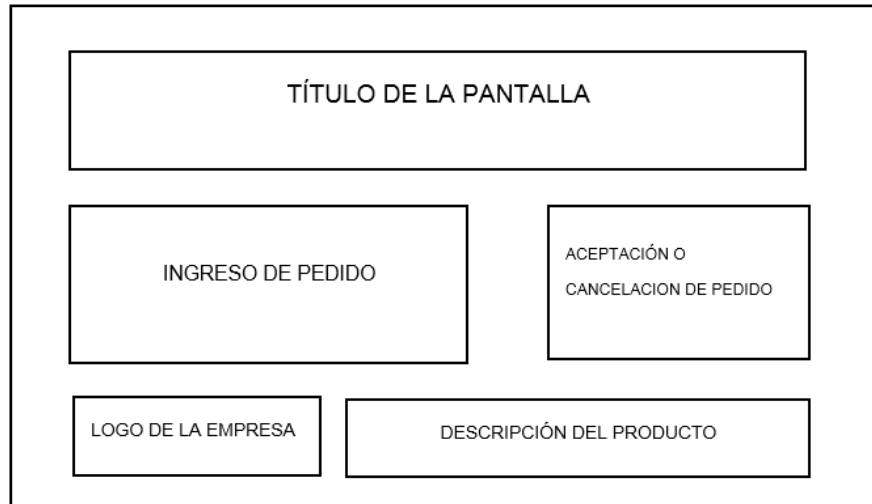
Pantalla principal con registro de usuario.



Nota: El gráfico representa las plantillas utilizadas para el diseño de la interfaz HMI.

Figura 96.

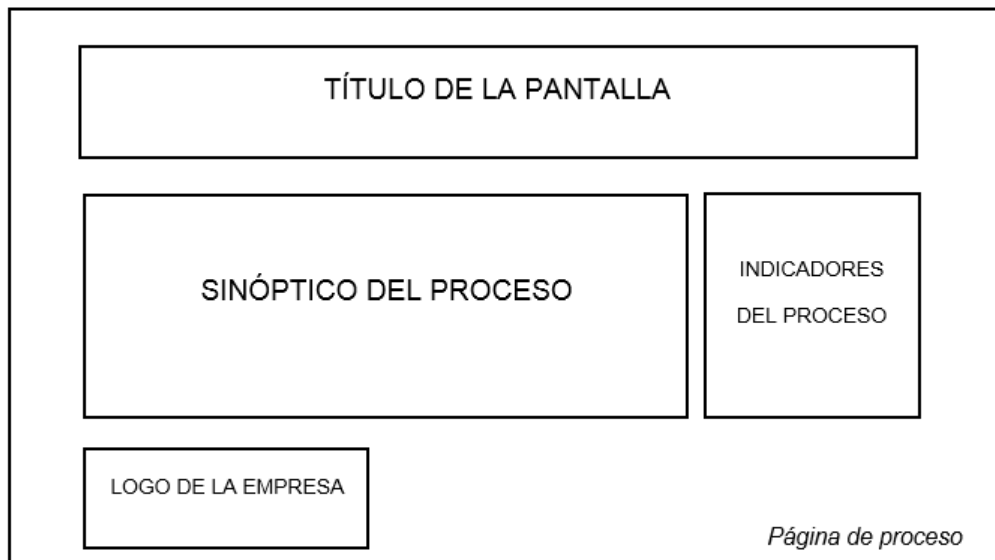
Plantilla de la interfaz de la pantalla de pedido.



Nota: El gráfico representa las plantillas utilizadas para el diseño de la interfaz HMI.

Figura 97.

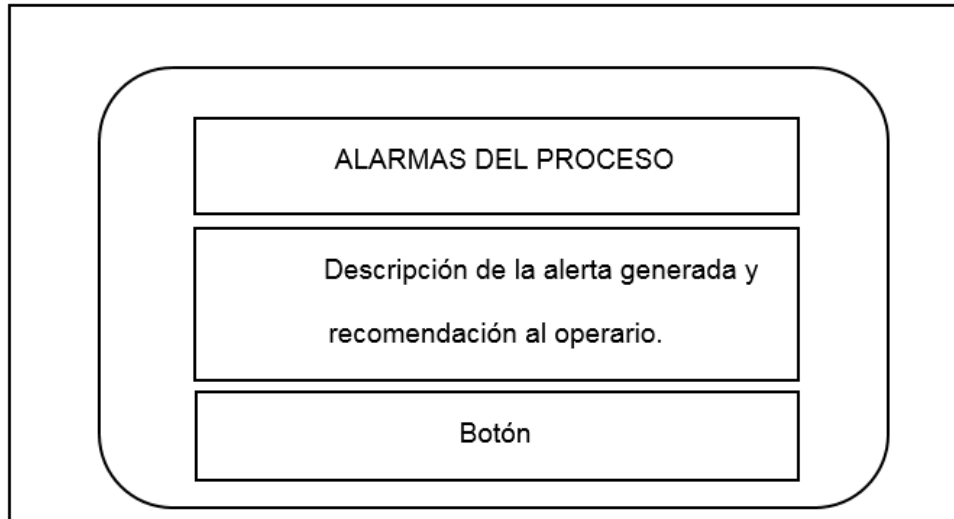
Plantilla de la interfaz general de proceso.



Nota: El gráfico representa las plantillas utilizadas para el diseño de la interfaz HMI.

Figura 98.

Plantilla de las ventanas de despliegue de alertas.



Nota: El gráfico representa las plantillas utilizadas para el diseño de la interfaz HMI.

Desarrollo de la lógica de Control de la Interfaz HMI

Al encender el sistema, se tendrá una pantalla de inicialización temporizada que después de un tiempo de 3000 ms, se direccionará a la pantalla de pedido, en la cual el operario podrá hacer el ingreso de la cantidad de unidades a producir.

Una vez ingresado y aceptado el valor se direccionará automáticamente a la pantalla de proceso; donde se podrá visualizar el estado del sistema, la cantidad de unidades producidas, y un sinóptico del proceso, que permite al operario comprender el funcionamiento del sistema.

Durante la etapa de pedido y la etapa de proceso, puede surgir la ventana pop-up de emergencia, que alerta al operario de la inexistencia de material. Esta ventana aparecerá y desaparecerá tras haber recibido la orden del botón aceptar que indica que la notificación fue recibida por parte del operario.

Particularidades de la interfaz HMI

El diseño propuesto debe poseer características que se han desarrollado con el fin de informar las funciones o propiedades del sistema.

Interfaces de entrada.

Los datos son ingresados mediante el uso de la pantalla ***Touch***.

Pantallas gráficas.

El sistema del prototipo automatizado cuenta con cuatro pantallas en la interfaz.

La resolución de las pantallas es de (800 x 480) pixeles.

Interfaz de Control.

El protocolo de comunicación establecido es:

Comunicación serial RS232

Acceso a los datos.

Acceso directo y en tiempo real a los datos manipulados por la interfaz.

Compatibilidad con librerías Nextion.

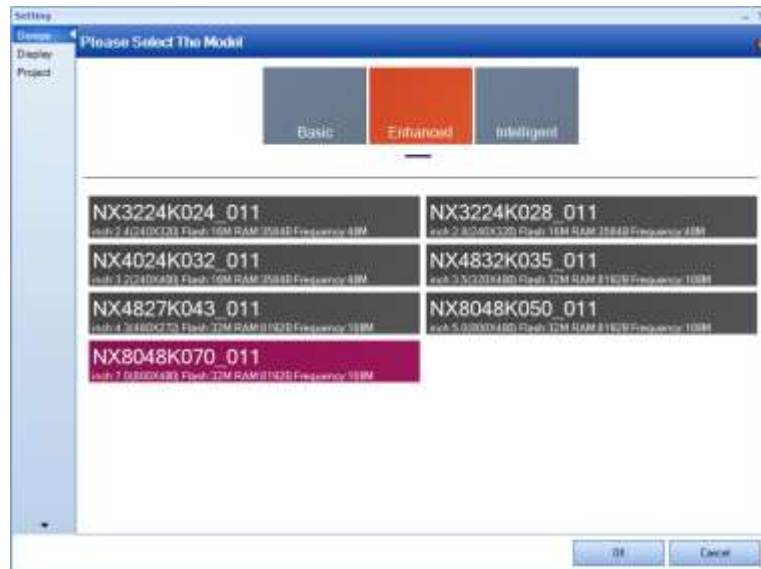
Creación de Interfaz HMI en Nextion Editor

Para crear un nuevo proyecto se debe seguir los pasos mencionados a continuación

- Al abrir Nextion editor.
- Seleccionar
 - Nuevo proyecto
 - Elegir la opción y el modelo de la pantalla que se va a utilizar. (***Enhanced*** NX8048K070_011).

Figura 99.

Configuración inicial para crear interfaz HMI en nextion editor.



Nota: El gráfico representa el proceso utilizado en la creación de la interfaz HMI, en el software Nextion Editor.

Seleccionar la dirección u orientación que tendrá la pantalla en el proyecto. En este caso, horizontal (0).

Figura 100.

Selección de orientación de pantalla en interfaz HMI.

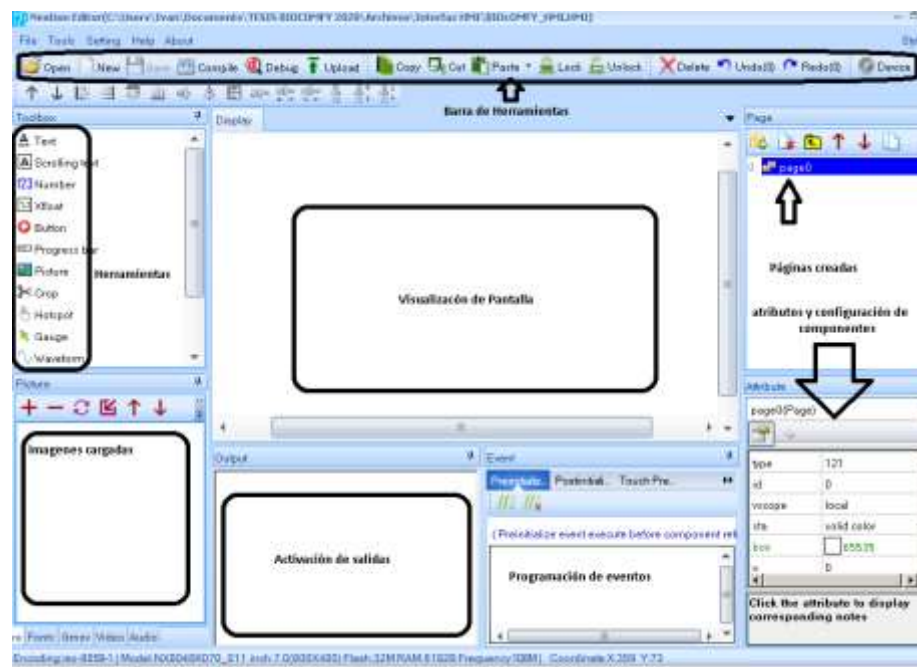


Nota: El gráfico representa el proceso utilizado en la creación de la interfaz HMI, en el software Nextion Editor.

Una vez cargada la configuración básica del proyecto, se procede a crear la interfaz, para lo cual resulta necesario conocer y estar relacionado con el software de programación gráfica. A continuación, se muestra la interfaz de usuario del software Nextion editor V1.60.2. El cual posee un manual de usuario completo para la creación de interfaces en la página oficial del fabricante.

Figura 101.

Interfaz de usuario de nextion editor V1.60.2



Nota: El gráfico representa el proceso utilizado en la creación de la interfaz HMI, en el software Nextion Editor.

Las pantallas realizadas tendrán una apariencia como se muestra a continuación:

Figura 102.

Visualización de pantalla de inicialización.



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada dentro del diseño de la interfaz HMI, en cada etapa.

Figura 103.

Pantalla de control de ingreso de usuarios



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada dentro del diseño de la interfaz HMI, en cada etapa.

Figura 104.

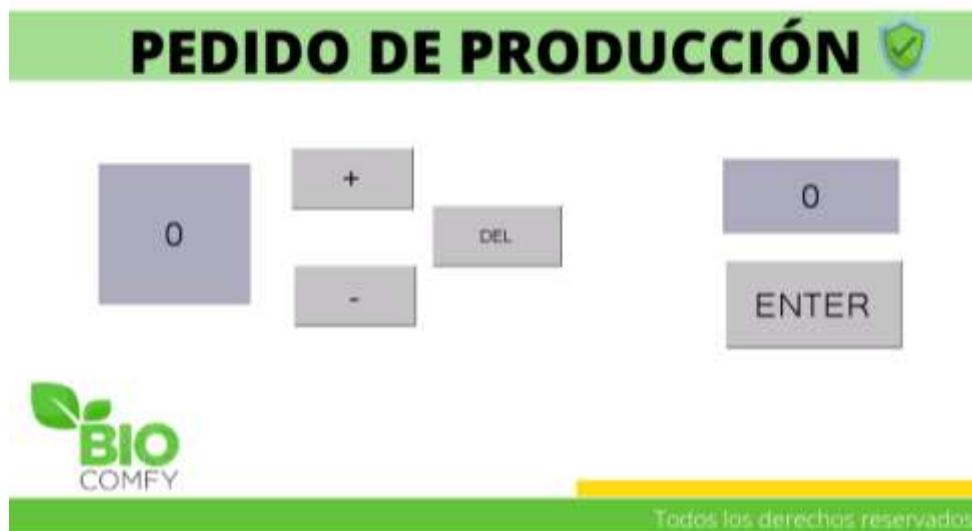
Visualización de pantalla de acceso denegado



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada dentro del diseño de la interfaz HMI, en cada etapa.

Figura 105.

Visualización de pantalla de pedido



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada para realizar pedidos dentro de la planta de producción.

Figura 106.

Visualización de pantalla de proceso



Nota: El gráfico representa la pantalla que permite dar un vistazo de la vista general del proceso.

Figura 107.

Ventana de despliegue de alerta de gel antibacterial próximo a terminarse



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada en la generación de alertas de ausencia de gel en la reserva.

Figura 108.

Ventana de despliegue de alerta de tapas no disponibles



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada en la generación de alertas de ausencia de tapas en la reserva.

Figura 109..

Ventana de despliegue de alerta de gel antibacterial no disponible



Nota: El gráfico representa la pantalla utilizada en la generación de alertas de ausencia de gel en la reserva.

Capítulo 5

Implementación

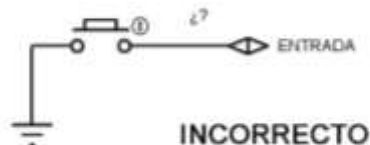
En este capítulo se describe la implementación del circuito PCB, que integra los componentes y drivers del sistema dentro de un mismo circuito. Sin modificar los módulos ya creados previamente que se encuentran disponibles en el mercado de manera comercial.

El circuito utilizará resistencias de ***pull-up*** y ***pull-down***, para las entradas de los sensores, las cuales permiten obtener una lectura correcta del estado del sensor, tal como lo recomiendan los fabricantes.

Las resistencias ***pull-up*** y ***pull-down*** nos permiten proporcionar voltajes de reserva en caso de que no se reciba la señal para generar y garantizar una lectura correcta.

Figura 110.

Circuito incorrecto para leer circuitos digitales



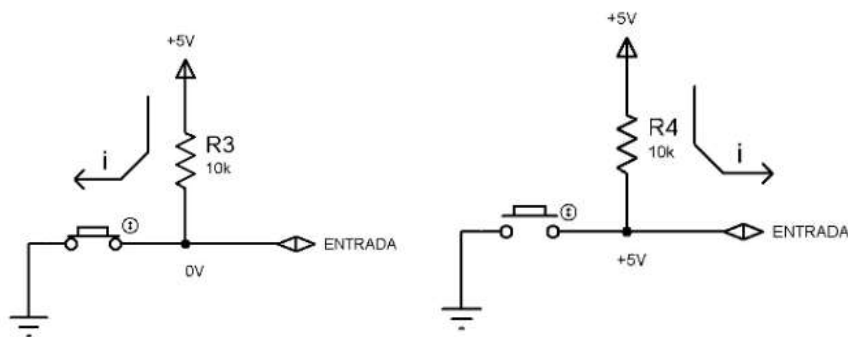
La configuración correcta tanto en ***pull-up*** y ***pull-down*** se muestran a continuación, y la utilización de ellas dependerá de la configuración del sensor.

Resistencias Pull-up y Pull-down

Como su nombre lo indica, esta resistencia tiene la función de "elevar", lo que significa que polariza el voltaje hacia el voltaje fuente (VDD), que puede ser + 5 V o + 3.3 V. De esta manera, el voltaje en la entrada del Rugged Mega es siempre + 5V cuando el botón está abierto o en reposo. Las entradas del Rugged Mega son de alta impedancia, lo que significa que la corriente que circula por esta línea es mínima en el orden de los microamplificadores, por lo que el voltaje que "cae" en la resistencia pull-up es mínimo y casi lo tenemos la misma fuente de voltaje en la entrada del Arduino. Cuando se presiona el botón, la corriente fluye a través de la resistencia y luego a través del botón. De esta manera tenemos que el voltaje en la entrada del Arduino es tierra o 0 V. Entonces, en la configuración pull-up, el Rugged Mega muestra 1 cuando el botón está en reposo, y cuando lo presionamos, se muestra 0.

Figura 111.

Circuito pull up

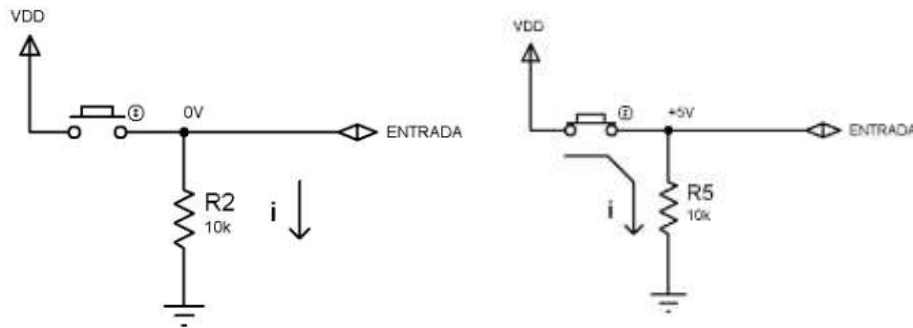


Del mismo modo, la resistencia **pull-down** "tira" el voltaje "hacia abajo" o "0V". Cuando el botón está en reposo, el voltaje en la entrada del Rugged Mega es 0V. Cuando presionamos el botón, la corriente fluye desde + 5V a través del botón hacia la resistencia y termina en 0V, de esta manera tenemos + 5V en la entrada del Rugged

Mega. En la configuración desplegable, el Rugged Mega muestra 0 cuando el botón está inactivo y 1 cuando se presiona.

Figura 112.

Circuito pull down

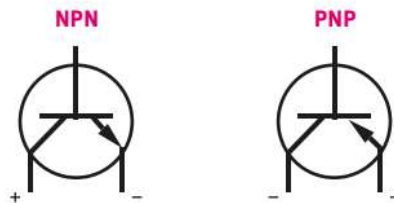


El valor de la resistencia de **pull-up** y **pull-down** puede variar entre $1K\Omega$, hasta $10k\Omega$.

Para determinar el tipo de circuito ocupar si de **pull-up** o de **pull-down**, se debe considerar la salida de la señal del sensor y esto estará determinado de acuerdo a la especificación PNP o NPN, donde la configuración NPN, entregará una señal en bajo (0V), y la configuración PNP entregará una salida digital de activación en alto (5V).

Figura 113

Configuración NPN Y PNP



Creación del Hardware PCB

El hardware creado corresponde a una integración de todos los componentes del sistema con el fin de crear un circuito y evitar que los componentes se encuentren dispersos entre sí.

La placa permitirá conectar los sensores como entradas, y los actuadores a las salidas y de esta manera obtener un circuito compacto.

A continuación, se muestra la lista de elementos utilizados para la implementación del circuito PCB.

Tabla 28.

Componentes utilizados en el hardware PCB.

	ITEM	Descripción	Número de Pines Requeridos	Asignación de Pines	Símbolos	
GLOBAL	1	Arranque del sistema	Entrada Digital	1	BTN1	
	2	Parada del sistema	Entrada Digital	1	BTN2	
	3	Motor Banda Transportadora	Salida Digital	4	3,4,5	MO1,MO2,MO3
	4	Interfaz HMI	Salida Serial	2	0,1	RXP,TXP
	5	Luz piloto de sistema encendido	Salida Digital	1	31	LP1
	6	Luz piloto de sistema Detenido	Salida Digital	1	29	LP2

	ITEM	Descripción		Número de Pines Requeridos	Asignación de Pines	Símbolos
LLENADO	7	Sensor de botella E1	Entrada Digital	1	2	SB1
	8	Cilindro Neumático ELL1	Salida a Relé	1	6	val1
	9	Cilindro Neumático ELL2//	Salida a Relé	1	7	val2
	10	Moto DC_ elevador	Salida a Driver	4	22,23,24	ENB,IN3,IN4
	11	Medidor Nivel 1 Reserva de Material	Entrada Digital	1	27	SN1
	12	Medidor Nivel 2 Reserva de Material	Entrada Digital	1	28	SN2
	13	Servomotor Bomba dosificadora	Salidas Digitales	4	30,31,32,33	BM1,BM2,BM3,BM4
	14	Salida extra de respaldo etapa 1	Salida Digital	1	34	BU
TAPADO	15	Sensor de botella E2	Entrada Digital	1	18	SB2
	16	Cilindro Neumático ET1	Salida a Relé	1	8	val3
	17	Cilindro Neumático ET2//	Salida a Relé	1	9	val4
	18	Despachado de tapa	Salida a Relé	1	10	CDT
	19	Sensor de tapas	Entrada digital	1	21	ST
	ITEM	Descripción		Número de Pines Requeridos	Asignación de Pines	Símbolos
SELLADO	20	Sensor de botella E3	Entrada Digital	1	19	SB3
	21	Cilindro NeumaticoES1	Salida a Relé	1	35	CN5

	22	Cilindro NeumaticoES2 //	Salida Relé	a	1	37	CN6
	23	Cilindro descenso	de Salida Relé	a	1	33	CD1
	24	Cilindro Ascenso	de Salida Relé	a	1	43	CD2
	25	Motor acción Ajuste	de de Salida Relé	a	1	51	MA
EXTRAS	26	BEEP	Salida Análoga		1	A0	B1
	27	Accesorios 1	Salida Análoga		1	A1	A1
	28	Accesorios 2	Salida Digital		1	A2	A2
	29	Accesorios 3	Salida Digital		1	A3	A3

Nota: Esta tabla muestra la distribución de pines utilizados en la placa PCB.

Algunos de los elementos poseen librería incluidas en **Proteus 8** Profesional, mientras que otros elementos requieren ser creados o importados para poder ser utilizados dentro del diseño.

Tal es el caso de la librería de Arduino Mega que se ajusta perfectamente a las dimensiones y distribución de pines de Rugged Mega, para lo cual se hará uso de estas librerías de uso libre.

Este procedimiento se lo realiza descargando las librerías de la página oficial de Arduino.

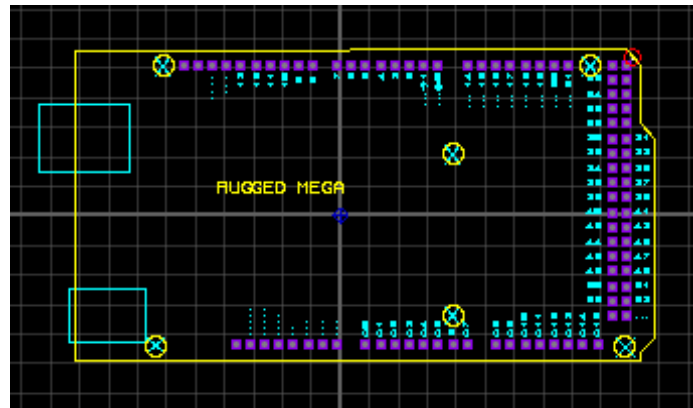
La librería previamente descargada tiene que ser agregada en la siguiente ruta del sistema C:\Program Files (x86)\Labcenter Electronics\Proteus 8 Professional\LIBRARY.

Creación de librerías y paquetes

Por defecto estas librerías no incluyen los paquetes ARES para la creación de la PCB, a lo cual se debe crear el paquete para luego agregarlo en el diseño.

Figura 114.

Paquete ares Rugged mega para implementación de la PCB.



Nota: El gráfico representa la creación de paquetes para módulos nuevos en Proteus Profesional 8.

Para agregar el paquete se realiza el procedimiento que se muestra a continuación:

Figura 115.

Crear paquete ARES -PCB

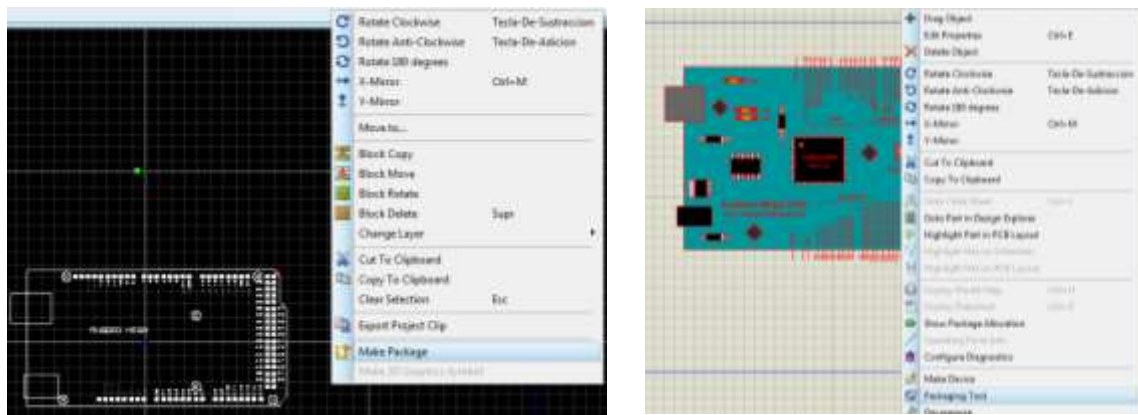
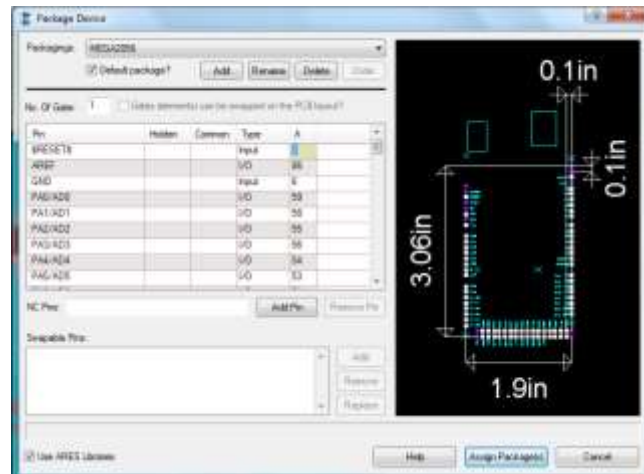


Figura 116.

Asignación de pines al paquete.



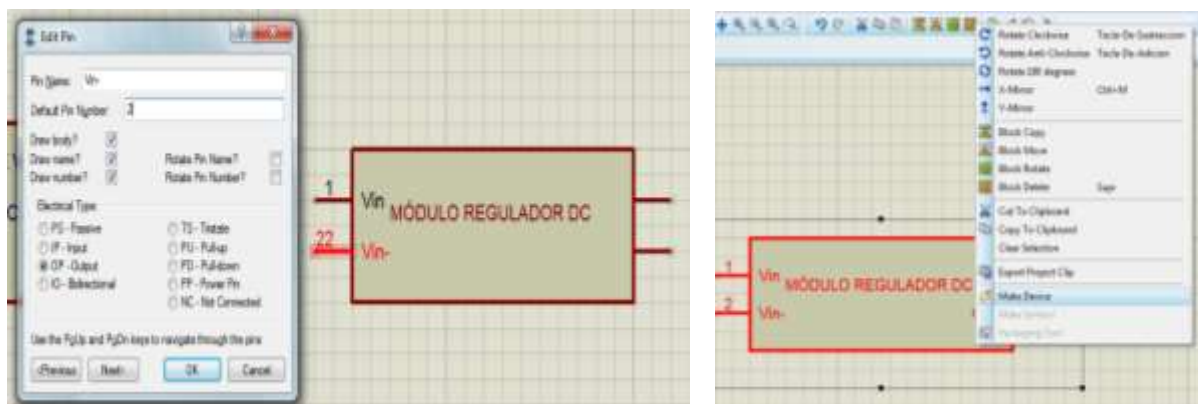
Nota: El gráfico representa la creación de paquetes para módulos nuevos en Proteus Profesional 8.

Algunos componentes no se encuentran disponibles en las librerías de **Proteus 8**, por lo cual se procede a crear el componente tanto para ISIS, como los paquetes de Ares

Tal es el caso del regulador de voltaje **Step-down**, el driver L298N, y el módulo de relés.

Figura 117.

Creación de librería para módulos adicionales.

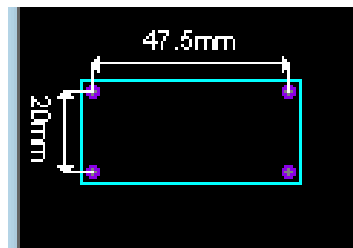


Nota: El gráfico representa la creación de paquetes para módulos nuevos en Proteus Profesional 8.

Donde posteriormente se procede a crear el componente y a asignar nombres a los pines de conexión.

Figura 118.

Creación de paquetes para módulos



Nota: El gráfico representa la creación de paquetes para módulos nuevos en Proteus Profesional 8.

Figura 119.

Asignación de visualización 3D de los componentes



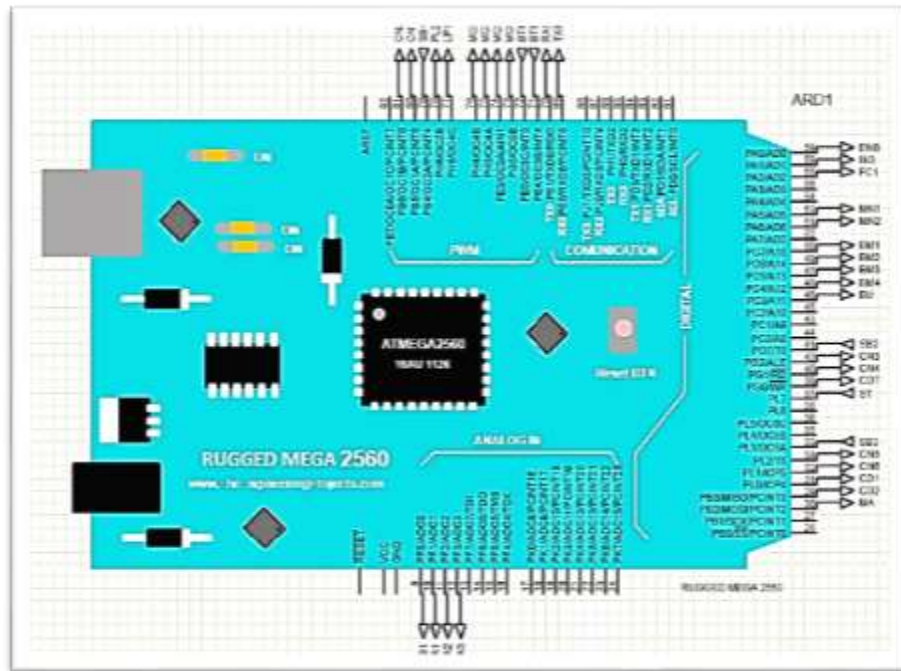
Nota: El gráfico representa la creación de paquetes para módulos nuevos en Proteus Profesional 8.

Una vez que se ha acondicionado todos los elementos, paquetes y librerías se procede a crear el circuito, tomando en cuenta la **tabla 20**. La cual describe los pines que son utilizados como entradas, como salidas y señales de control dentro del circuito.

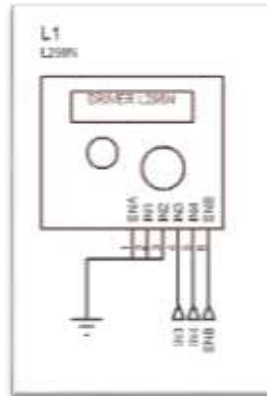
A continuación, se muestran los diferentes componentes creados y utilizados dentro del circuito PCB, requeridos para la implementación del sistema.

Figura 120.

Controlador Rugged mega



Nota: El gráfico representa las conexiones de Rugged Mega dentro del circuito PCB.

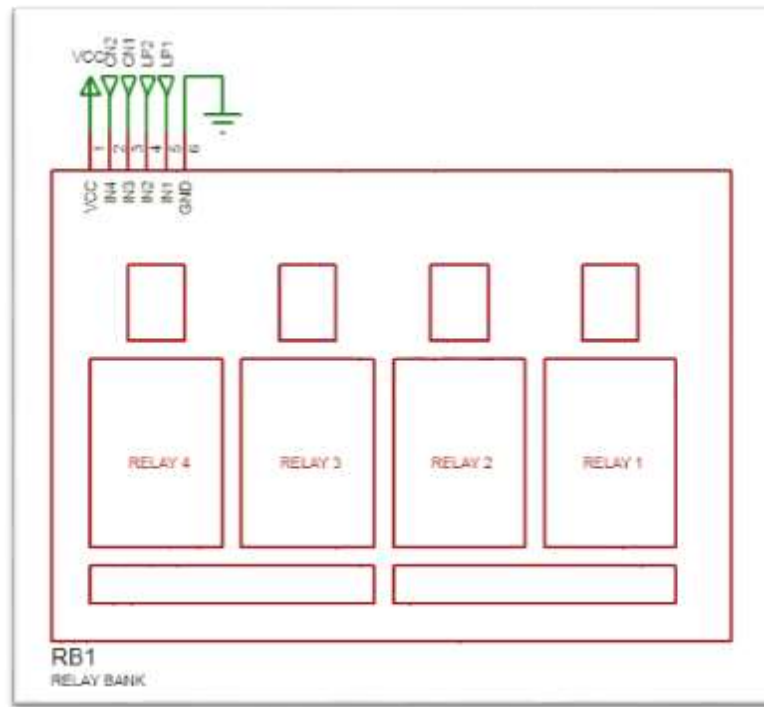
Figura 121.*Driver L298N*

Nota: El gráfico representa las conexiones del driver L298N dentro del circuito PCB.

Figura 122.*Módulo regulador de voltaje step down.*

Figura 123.

Módulo de relés de 4 canales



Nota: El gráfico representa las conexiones existentes dentro de la placa PCB, como entradas y salidas del circuito.

Figura 124.

Circuito para botones de control del sistema.

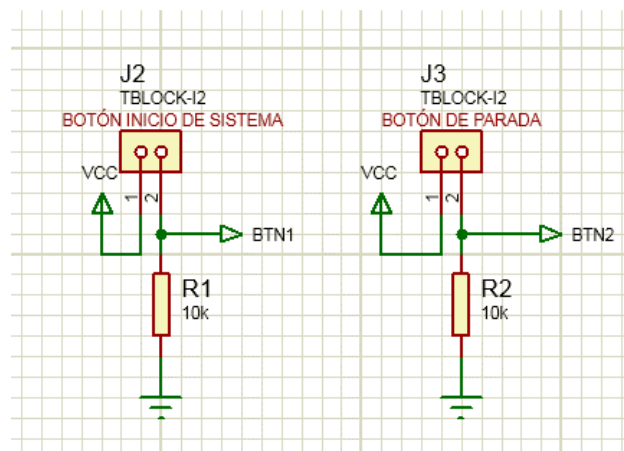
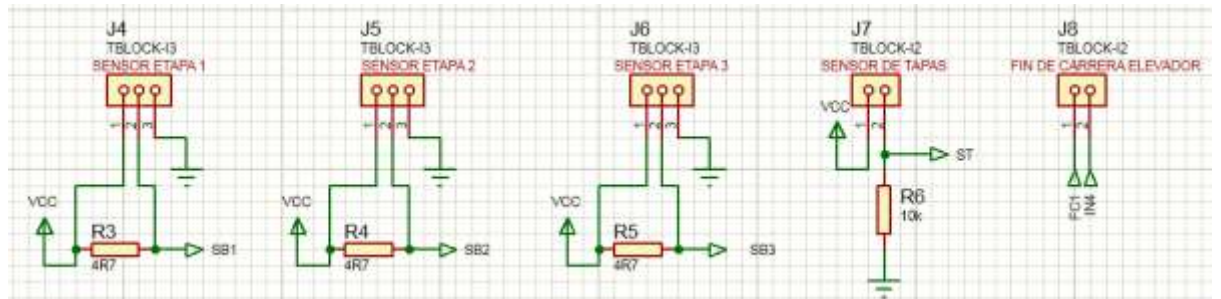
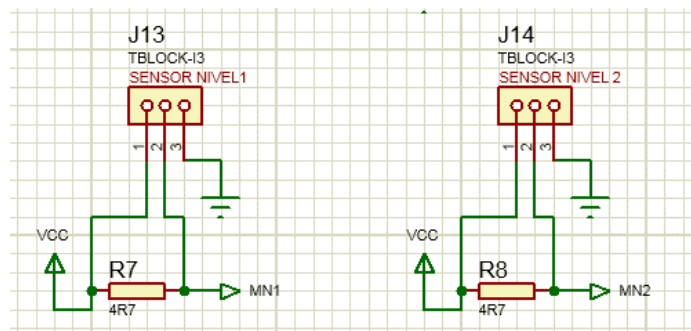


Figura 125.

Circuito para los elementos de entrada del sistema



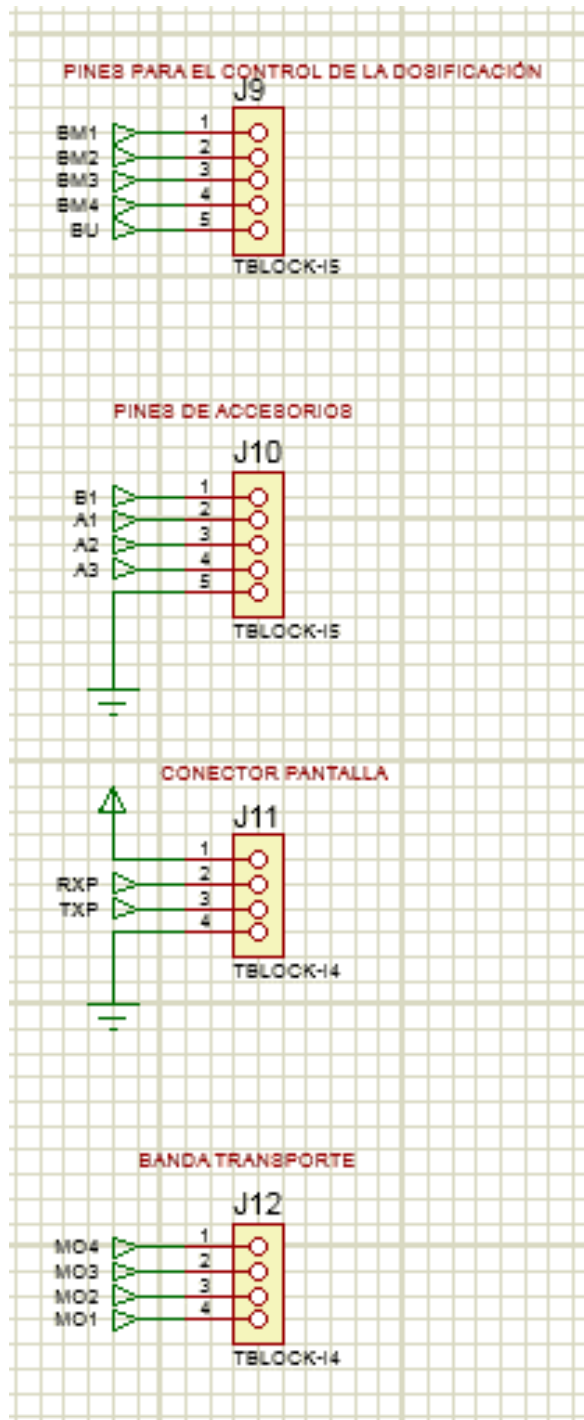
Nota: El gráfico representa las conexiones existentes dentro de la placa PCB, como entradas y salidas del circuito.



Nota: El gráfico representa las conexiones existentes dentro de la placa PCB, como entradas y salidas del circuito.

Figura 126.

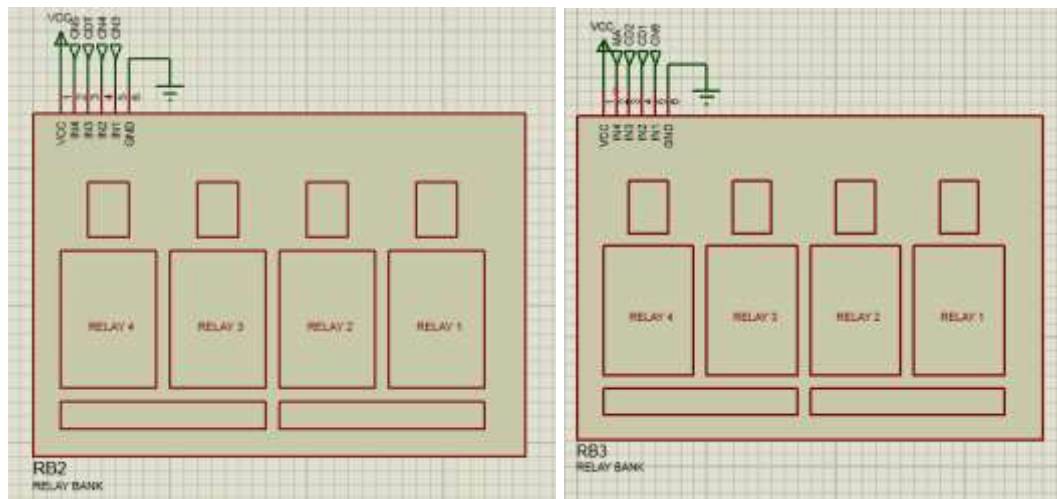
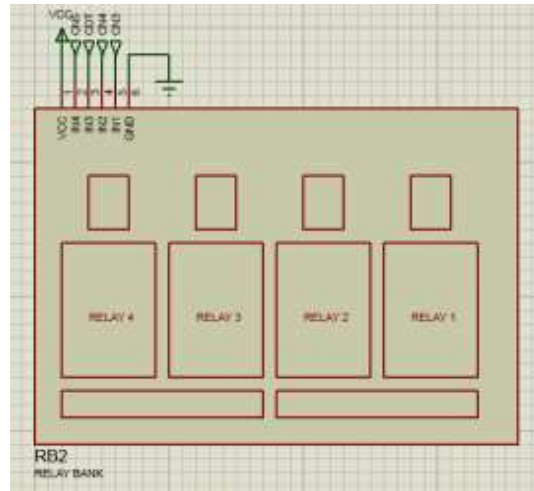
Pines de salida de control para el sistema



Nota: El gráfico representa las conexiones existentes dentro de la placa PCB, como entradas y salidas del circuito.

Figura 127.

Módulos de salida a relé para activación de actuadores



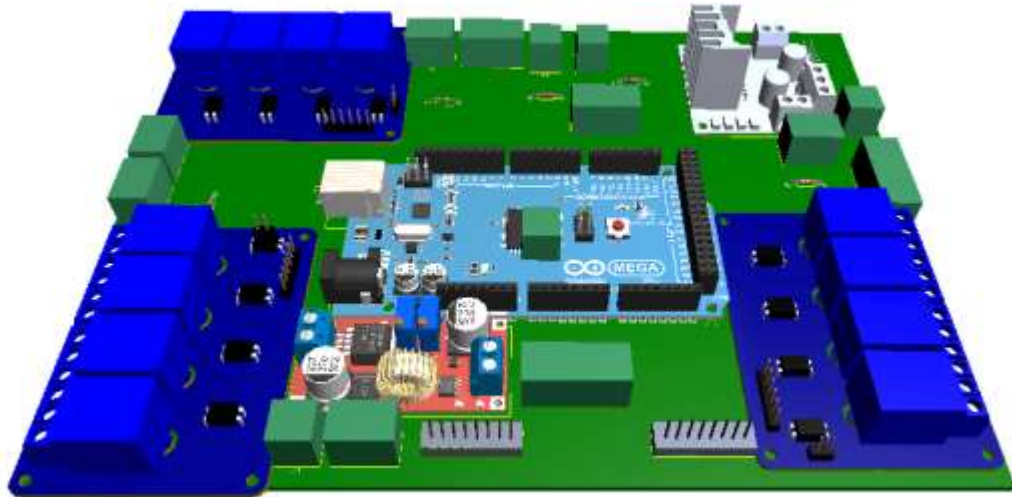
Nota: El gráfico representa los bancos de relés utilizados en Proteus Profesional 8, para ser utilizados en el diseño.

Finalmente se realiza el ruteado con todos los componentes del circuito para crear el circuito y obtener el diseño final del circuito PCB. A continuación, se muestra la visualización 3D de la placa con sus componentes.

Visualización de placa PCB generada

Figura 128.

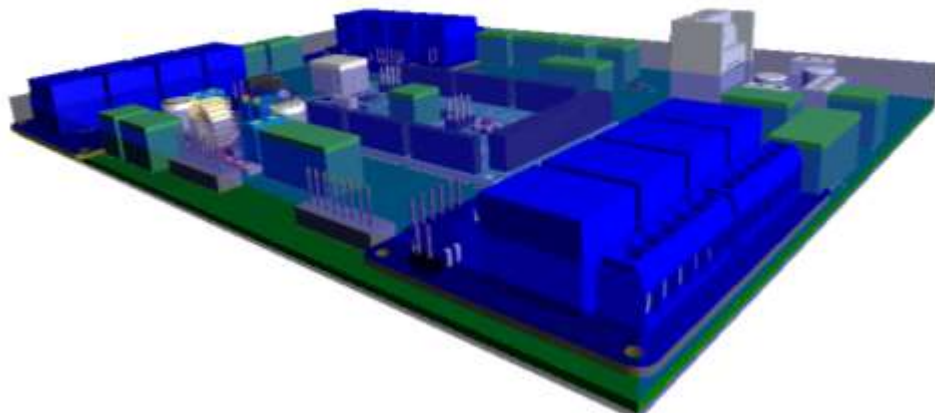
Circuito PCB- visualización frontal superior



Nota: El gráfico representa la visualización 3D de la placa PCB implementada (a).

Figura 129.

Circuito PCB - visualización 3D



Nota: El gráfico representa la visualización 3D de la placa PCB implementada (b).

Programación del Controlador

Rugged Mega, al ser directamente compatible con Arduino Mega (microcontrolador ATmega 2560), proporciona una gran versatilidad y facilidad al momento de implementar y cargar el código del programa, ya que utiliza todas las características y herramientas que posee el Arduino, incluyendo su IDE de desarrollo con un sistema de gestión de librerías, incluyendo las herramientas necesarias para compilar el programa y grabar el programa en la memoria flash del microcontrolador.

El programa desarrollado se denomina **sketch** o proyecto, el cual tiene una extensión (**.ino**). Una vez compilado el programa, el IDE crea automáticamente un directorio con el mismo nombre del proyecto.

La estructura básica de un sketch para Rugged Mega, se compone al menos de dos partes (**setup, loop**), las cuales son obligatorias y encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

Figura 130.

Estructura básica de un sketch para rugged mega

```

1 | void setup() {
2 |   // put your setup code here, to run once:
3 | }
4 |
5 | void loop() {
6 |   // put your main code here, to run repeatedly:
7 | }
```

Nota: El gráfico representa la estructura básica de un sketch en el IDE de Arduino.

La estructura del programa para la implementación del proyecto, posee una estructura modular, en el cual se crean funciones o subrutinas por separado para ser

llamadas a la función principal **loop** para realizar cada una de las actividades secuenciales del proceso.

Dentro del programa es necesario incluir las librerías utilizadas dentro del proyecto, que facilitan el desarrollo del programa.

Tal es el caso de la librería:

```
#include "Nextion.h" // Librería correspondiente a la pantalla HMI
```

Figura 131.

Estructura del programa en el IDE de arduino (*RuggedMega*).

```
#include "Nextion.h"
NexButton b0 = NexButton(0, 1, "b0");
NexButton b1 = NexButton(0, 2, "b1");

char buffer[100] = {0};

NexTouch *nex_listen_list[] =
{
  &b0,
  &b1,
  NULL
};

void setup(void)
{
  nexInit();
  b0.attachPush(b0PopCallback, &b0);
  b1.attachPop(b1PopCallback, &b1);

  dbSerialPrintln("Setup Ok.");
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
}

void loop(void)
{
  nexLoop(nex_listen_list);
}

void b1PopCallback(void *ptr)
{
```

← Librerías

← Declaraciones

← sección "setup"

← sección "loop"

← Funciones

Nota: El gráfico representa la estructura del programa implementado dentro del proceso.

El **setup()** corresponde a la parte del programa encargada de recoger la configuración e inicialización del sistema. El **loop()** es la sección que contiene el programa que se ejecuta cíclicamente. Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje.

El resto de funciones son creadas de manera independiente, para posteriormente ser llamadas hacia la función **loop** principal de acuerdo al diagrama de flujo del proceso.

Programación de la Interfaz HMI

Dentro del software Nextion editor, se pueden programar varias funcionalidades independientes, que permiten obtener una adecuada visualización de la interfaz.

Funcionalidades como: programar una pantalla de inicialización con un tiempo determinado, programar la visualización de las diferentes pantallas de acuerdo al comportamiento del sistema, restringir valores para la elaboración de producto, etc.

Figura 132.

Programación de pantallas de la interfaz HMI.

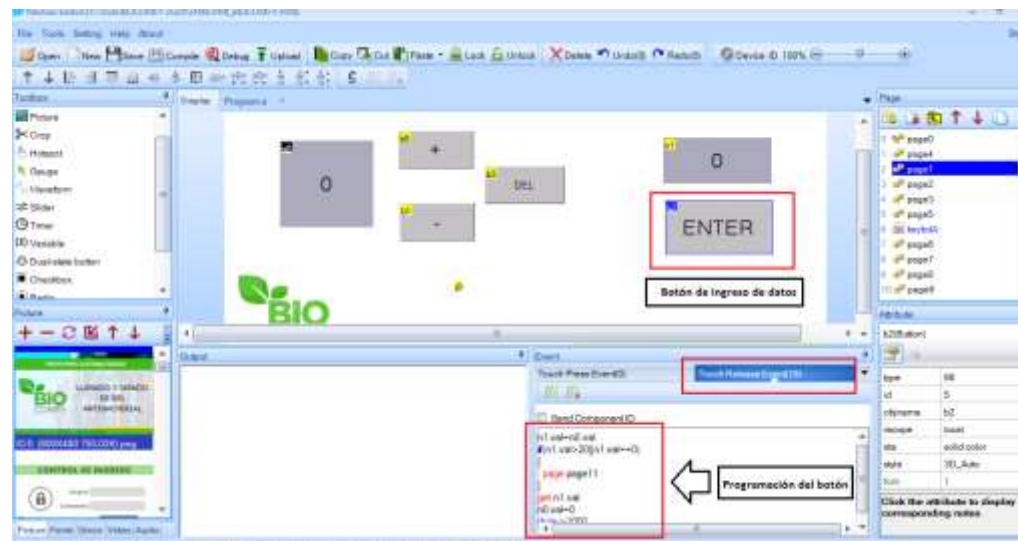


Nota: El gráfico representa la interfaz de usuario utilizada para realizar el desarrollo de la HMI_1.

Cada uno de los elementos de la interfaz, son programados por líneas de código. Como se muestra a continuación.

Figura 133.

Programación de los botones y componentes de la interfaz HMI.



Nota: El gráfico representa la interfaz de usuario utilizada para realizar el desarrollo de la HMI_2.

Posteriormente se crea el archivo (**.tff**), el cual es grabado en una tarjeta SD, y es insertado en la ranura de la parte posterior de la pantalla Nextion.

Librería Nextion y Rugged Mega

Para que la pantalla Nextion, interactúe con el controlador Rugged Mega es necesario hacer uso de las librerías Nextion, las cuales están disponibles en la página oficial de la marca.

La manera correcta de direccionar la información a cada componente de la interfaz es declarando cada objeto de la interfaz dentro del programa, de la siguiente manera:

Objet [pagina id:0, component id:1, component name: "b0"]

Ejemplo:

NexButton b0 = NexButton(0, 1, "b0");

En el **ANEXO E** se encuentra el código para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 6

Pruebas de funcionamiento

En esta sección del documento se realiza una evaluación previa de todo el sistema. En la cual, se evalúa el funcionamiento del proceso por etapas.

Pruebas de funcionamiento Etapa de llenado.

En la etapa del proceso de llenado y dosificación de producto se realizaron diferentes pruebas para garantizar la entrega del contenido neto en cada envase de gel antibacterial. A continuación, se hace referencia a los métodos establecidos para determinar el volumen dentro del recipiente.

Contenido Neto.

Es la cantidad presente en el producto sin considerar el envase o el empaque (la tara). Según el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 284, año 2015, la determinación del contenido neto se lo realiza de las siguientes maneras:

- Prueba destructiva

Este proceso consta del siguiente procedimiento.

Determinar el volumen neto real, vaciando el contenido del envase en un recipiente calibrado y con divisiones mínimas de 1,0 ml para productos de hasta 1,0 L y con divisiones mínimas de 5,0 ml para el resto de las presentaciones.

Vaciar completamente el contenido del envase en un recipiente tarado, y determinar el contenido neto real, restando el valor de la tara. Relacionar la masa del contenido neto con la densidad del producto para obtener el volumen.

Pesar el envase con producto, vaciar su contenido totalmente, limpiando el envase si fuera necesario; pesar el envase vacío y por diferencia, calcular el contenido neto real. Relacionar la masa del contenido neto con la densidad del producto para obtener el volumen.

- Prueba no destructiva

Pesar el envase con producto y determinar el peso neto real, restándole la masa promedio del envase vacío, obtenida de una muestra representativa de 20 envases vacíos. Relacionar la masa del contenido neto con la densidad del producto para obtener el volumen.

Para el desarrollo de este proyecto, se ha utilizado el método no destructivo, obteniendo valores de volumen en mililitros.

A continuación, se muestra una tabla con las pruebas realizadas.

Tabla 29.

Pruebas de dosificación normal por tiempo y pwm (1)

Bomba de dosificación	PWM (0-255)	Tiempo (ms)	Nº de pruebas	Valores esperados (ml)	Resultado de la dosificación
Arranque	0-255	900			
Llenado	255	900	300	70-80	Dosificación Irregular
Parada	255-0	200			

Nota: Esta tabla muestra la calibración utilizada en la prueba número 1 de dosificación.

En esta prueba se ha determinado un exceso en el suministro de gel antibacterial en los envases realizados, con porcentajes de error de hasta un 33%

Tabla 30

Pruebas de dosificación normal por tiempo y PWM (2)

Bomba de dosificación	PWM (0-255)	Tiempo (ms)	Nº de pruebas	Valores esperados (ml)	Resultado de la dosificación
Arranque	0-150	800			
Llenado	200	800	300	70-80	Dosificación Irregular
Parada	200-0	0			

Nota: Esta tabla muestra la calibración utilizada en la prueba número 2 de dosificación.

En esta prueba se ha determinado una falta de suministro de gel antibacterial en los envases realizados, con porcentajes de error de hasta un 16%.

Tabla 31

Pruebas de dosificación normal por tiempo y PWM (3).

Bomba de dosificación	PWM (0-255)	Tiempo (ms)	Nº de pruebas	Valores esperados (ml)	Resultado de la dosificación
Arranque	0-150	1000			
Llenado	200	1100	300	70-80	Dosificación Irregular
Parada	200-0	0			

Nota: Esta tabla muestra la calibración utilizada en la prueba número 3 de dosificación.

En esta prueba se ha determinado una dosificación que se ajusta a los requerimientos, con un error aceptable del 5% sobre el valor esperado, sin embargo, por las condiciones del líquido en ocasiones el suministro no logra cumplir con la cantidad requerida por el fabricante por el nivel inferior, por lo cual se utiliza una etapa de comprobación y rectificación de medida en caso que no se cumpla con el nivel mínimo requerido.

La etapa de rectificación de medida es regulada por un valor PWM inferior que permite controlar la activación de la bomba como se muestra a continuación:

Tabla 32.

Pruebas de dosificación rectificadora

Bomba de dosificación	PWM (0-255)	Tiempo (ms)	Nº de pruebas	Valores esperados (ml)	Resultado de la dosificación
Arranque	0-80	200	100	4-5	Dosificación Controlada
Llenado	80	250			
Parada	80-0	0			

Nota: Esta tabla muestra la evaluación de la etapa de dosificación con rectificación de llenado,

Este tipo de dosificación es controlada, y su principal característica es ser lenta ya que entrega cantidades de 5ml aproximadamente por cada interacción. La cual se ajusta perfectamente para rectificar la cantidad de material faltante en el caso que sea necesario y se ejecutará hasta que el sensor de nivel determine la cantidad mínima requerida.

A continuación, se realiza una evaluación del tiempo promedio empleado en la etapa de llenado de producto considerando el tiempo empleado desde que el envase es ubicado en la estación de llenado hasta que sale de la estación.

Tabla 33

Tiempo promedio empleado en la etapa de llenado

Operación	Tiempo (ms)	Tiempo total (ms)
Activación de pistón 1 para detener el envase	1500	9900
Descenso de instrumento dosificador	1250	
Dosificación Normal	2600	
Comprobación de nivel y rectificación	1800	
Ascenso del instrumento dosificador	1250	

Desactivación de pistón 1

1500

Nota: Esta tabla muestra la evaluación del tiempo requerido en la etapa de llenado.

Pruebas de funcionamiento de la etapa de colocación de tapa.

La etapa de colocación de tapas depende estrictamente del mecanismo encargado de colocar la tapa en el orificio de despacho. Esta prueba ha requerido de la calibración de posición del envase y del impulso entregada por la fuerza del pistón.

A continuación, se muestra la tabla con las pruebas realizadas:

Tabla 34.

Pruebas de etapa de colocación de tapas

Pruebas	Fuerza del pistón	Calibración (mm)	Resultados
Prueba 1	20N	25mm	60% efectividad
Prueba 2	20N	28mm	98% efectividad

Nota: Esta tabla muestra la evaluación realizada en la etapa de colocación de tapas.

Posteriormente se realiza la evaluación del tiempo empleado en la estación de colocación de tapas.

Tabla 35.

Tiempo promedio empleado en la etapa de colocación de tapa

Operación	Tiempo (ms)	Tiempo total (ms)
Activación de pistón 2 para detener el envase	1500	
Activación del pistón colocador de tapa	1500	6100
Tiempo que tarde en volver el pistón	1600	
Desactivación de pistón 2	1500	

Nota: Esta tabla muestra la evaluación del tiempo requerido en la etapa de colocación de tapas.

Pruebas de funcionamiento de la etapa de ajuste.

El ajuste de las tapas ha sido calibrado en base a normativas internacionales como la COVENIN 790:2000. En la cual, de acuerdo a las dimensiones y tipo de tapa a utilizar se utilizará un momento mínimo de 11.5 kg-cm y un máximo de 18.4 Kg-cm.

Tabla 36.

Pruebas de etapa de ajuste

Pruebas	Torque Utilizado (Kg-cm)	Número de pruebas	Resultados
Prueba	15	300	Ajuste correcto

Nota: Esta tabla muestra la evaluación del ajuste requerido para ajustar las tapas.

A continuación, se realiza la evaluación del tiempo promedio empleado en la etapa de ajuste de tapa considerando el tiempo empleado desde que el envase es ubicado en la estación de ajuste hasta que sale de la estación.

Tabla 37.

Evaluación de tiempo requerido en etapa de ajuste.

Operación

	Tiempo (ms)	Tiempo total (ms)
Activación de pistón 3 para detener el envase	1500	
Activación del pistón de descenso	500	
Tiempo que tarda en posicionar la boquilla de ajuste	1000	7100
Tiempo promedio de ajuste de tapa	2000	
Tiempo de ascenso de pistón	600	
Desactivación de pistón 3	1500	

Nota: Esta tabla muestra la evaluación del tiempo requerido en la etapa de ajuste de tapas.

Pruebas de funcionamiento de Interfaz HMI

La interfaz HMI debe permitir enviar información, para que el proceso se ejecute de acuerdo al proceso de control, y del mismo modo debe permitir entregar información del proceso, la cual es validada en esta etapa.

A continuación, una tabla con la descripción general de la validación de la interfaz HMI.

Tabla 38.

Validación de control de pedidos

	¿Permite ingresos menores a 0?	¿Permite valores mayores a 20?	¿El sistema se encuentra activo hasta culminar con el pedido?
Control de pedidos	No	No	SI

Nota: Esta tabla muestra la validación del control de pedidos dentro del proceso.

Tabla 39.*Validación del estado del proceso y las unidades producidas*

	Tipo de representación	Especificación
Estado del proceso	Barra de progreso	Estado en Tiempo real
		Se contabiliza una vez
Unidades producidas	Cantidad en números	terminada la operación de ajuste

Nota: Esta tabla muestra la validación del estado de producción y unidades producidas dentro del proceso.

Tabla 40.*Validación de generación de alarmas*

Generación de Alarmas	Alarma generada en tiempo real	Visual	Auditiva
Gel próximo acabarse	Sí	Sí	Sí
Ausencia de gel	Sí	Sí	Sí
Ausencia de tapas	Sí	Sí	Sí

Nota: Esta tabla muestra la validación de la generación de alarmas en la interfaz HMI.

Prueba general del proceso

Con el fin de cumplir con las especificaciones de producción requeridos en el planteamiento del proyecto, se ha realizado pruebas que permitan determinar el cumplimiento mínimo de producción.

Dentro del proceso, el tiempo que demora en llevar el producto de una estación a otra puede ser mejorado, incrementando la velocidad de la banda de transporte sin afectar ninguna etapa.

A continuación, se muestra una tabla con las pruebas realizadas y el volumen de producción obtenido.

TTPUP: Tiempo total por unidad producida(s).

TTE20: Tiempo total empleado en 20 unidades.

TER: Tiempo empleado en recargar materia prima.

TTECT: Tiempo total empleado en un ciclo completo de trabajo.

TE200: Tiempo empleado en producir 200 unidades.

Tabla 41.

Pruebas de producción

Pruebas	TTPUP	TTE20	TER	TTECT	TE200
Motor 20 rpm	42	14min	600s	24 min	4 horas
Motor 25rpm	34	11.4 min	600s	21.4min	3,56 h

Nota: Esta tabla muestra las pruebas realizadas en el proceso de producción.

Comparativa entre el sistema automatizado implementado vs el sistema manual.

Tras realizar las pruebas de funcionamiento, se procede a obtener una comparativa de rendimiento entre los sistemas: automatizado y manual respectivamente.

A continuación, se realiza la comparativa entre ambos procesos.

Tabla 42.

Comparativa entre el proceso manual y el proceso automatizado

Sistema	Número de productos	Tiempo de Ejecución total	Cantidad de material desperdiciado	Operarios
Manual	100	8h	~1.2 litros	2
Automatizado	100	1.78h	~0.45 litros	1

Nota: Esta tabla muestra la comparativa de rendimiento entre el proceso manual y el proceso automático.

En la cual, se nota claramente que la producción obtenida en el sistema manual es 4 veces más lenta que el proceso automatizado y reduce el desperdicio de material en un 62.5% del total, evitando la fatiga laboral, haciendo uso de un único operario.

Capítulo 7

Análisis de resultados

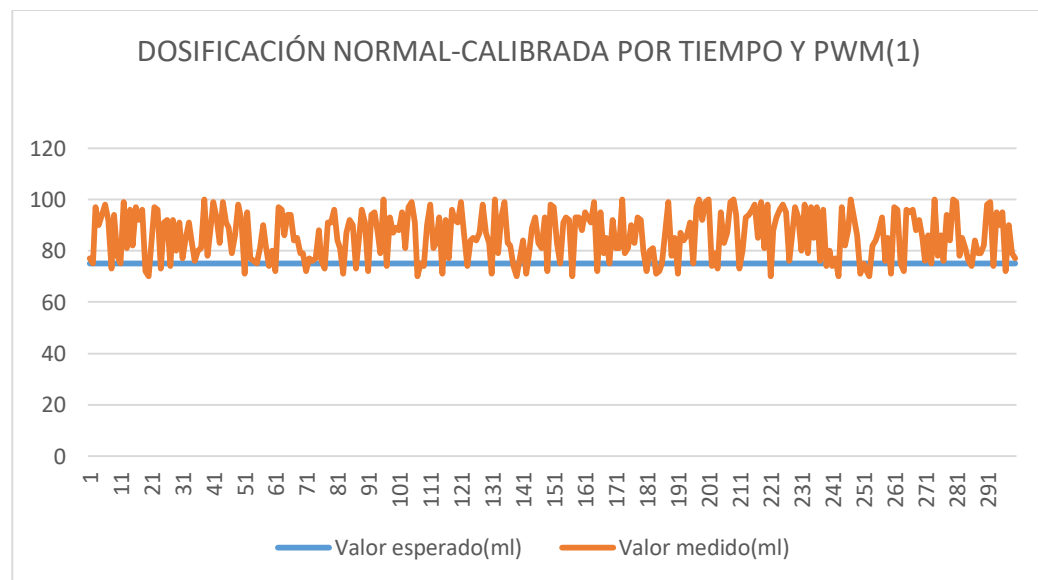
En este capítulo se analizará los resultados obtenidos en las pruebas realizadas dentro del proceso de producción y se verifica el cumplimiento de los requerimientos mínimos especificados dentro del proyecto.

Análisis de resultados de la etapa de dosificación

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas son:

Figura 134.

Gráfica de resultados de dosificación y calibración por tiempo y PWM (1).



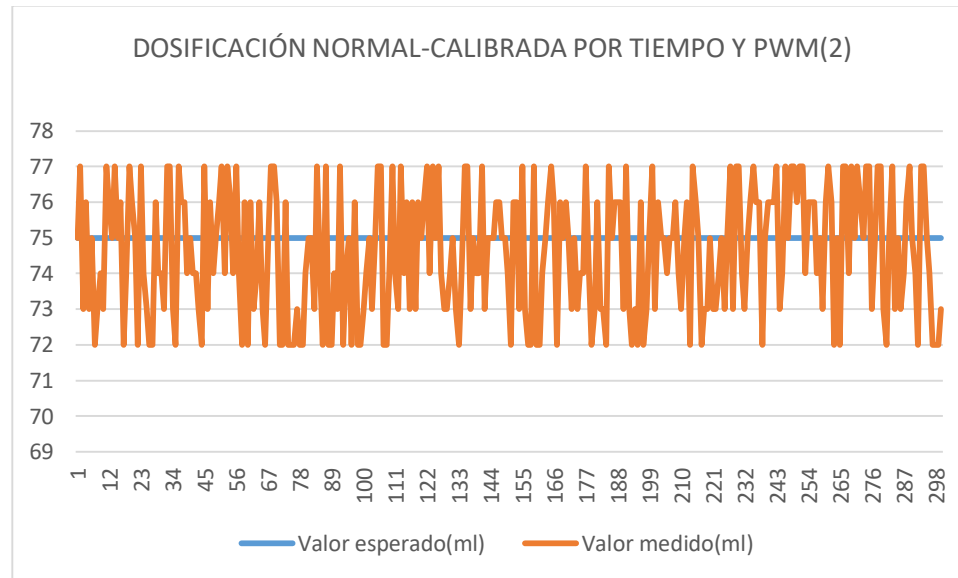
Nota: Esta imagen representa el comportamiento de la dosificación por tiempo en la prueba número 1.

Estas pruebas presentan productos con picos máximos de hasta 100 ml, llegando hasta el máximo de su capacidad y en ocasiones regando el material fuera del envase, produciendo así errores de hasta un 33% sobre el volumen esperado.

Posteriormente con una segunda calibración se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 135.

Gráfica de resultados de dosificación calibrada por tiempo y PWM (2).



Nota: Esta imagen representa el comportamiento de la dosificación por tiempo en la prueba número 2.

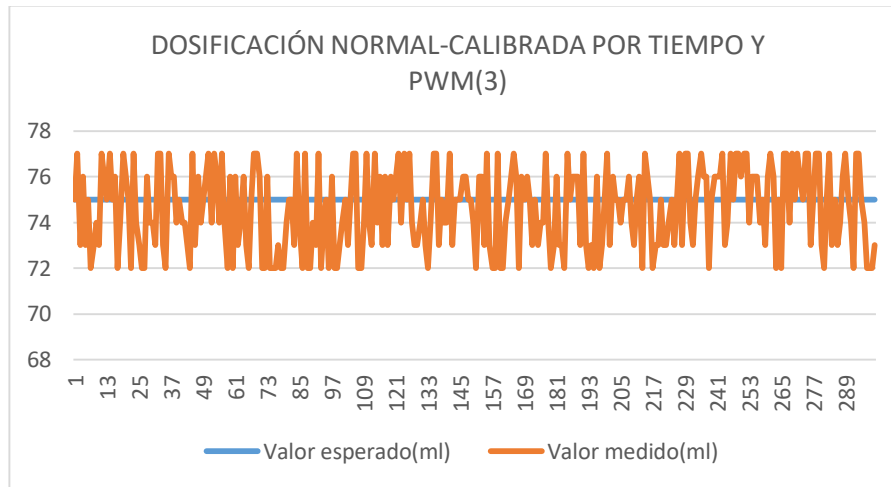
En la cual se obtuvieron valores por debajo del nivel requerido con picos mínimos de 63ml con lo cual se obtuvo errores de hasta un 16% por debajo del nivel requerido.

En base a estas pruebas se experimentó una calibración de medida, hasta conseguir el tiempo y la modulación de ancho de pulso que mejor se acople al sistema.

En la figura que se muestra a continuación se puede observar que el límite superior cumple la especificación de tolerancia del 5%, sin embargo, en ocasiones, el límite inferior supera este nivel de tolerancia.

Figura 136.

Gráfica de resultados de dosificación calibrada por tiempo y PWM (3).

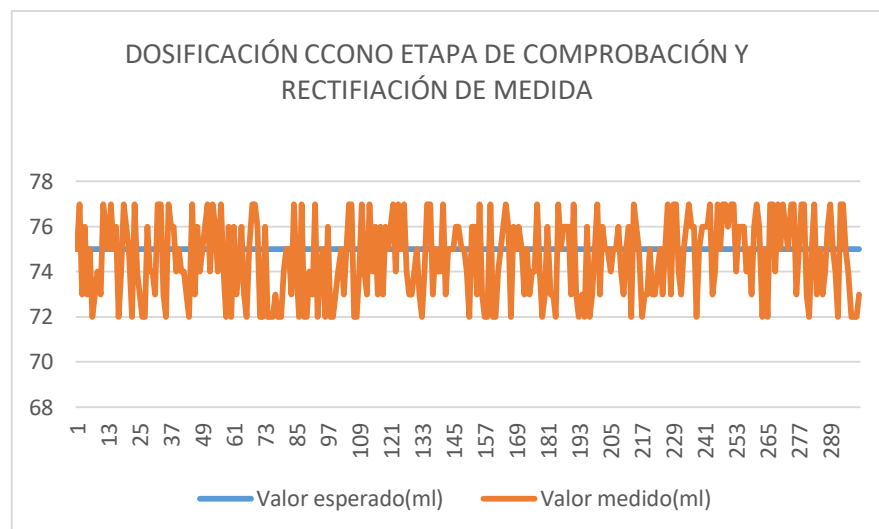


Nota: Esta imagen representa el comportamiento de la dosificación por tiempo en la prueba número 3.

Por lo cual se emplea una etapa de comprobación de medida y rectificación de dosificación para solventar este problema obteniendo resultados favorables para el proceso de dosificación como se muestra a continuación.

Figura 137.

Gráfica de dosificación con comprobación y rectificación de medida



Nota: Esta imagen representa el comportamiento de la dosificación con comprobación de medida.

Este comportamiento es el que mejor se adapta a los requerimientos del proceso cumpliendo con el requerimiento de nivel de tolerancia del 5%.

Análisis de resultados de la etapa de colocación de tapas.

De acuerdo a la experimentación y las pruebas realizadas se pudo determinar que el mecanismo funciona adecuadamente y cumple la función para la cual fue construida. Durante las pruebas existieron pequeños fallos ocasionados por el desajuste de piezas generado por el movimiento continuo del mecanismo, lo cual es normal al tratarse de un prototipo.

Análisis de resultados de la etapa de Ajuste de tapas.

Las pruebas realizadas, demuestran un correcto funcionamiento de esta etapa. La comprobación de ajuste se lo ha realizado mediante inspección de producto verificando que el producto se encuentre completamente sellado.

Análisis de resultados de la interfaz HMI.

De acuerdo a la validación realizada, se pudo determinar el correcto funcionamiento de la interfaz HMI, tanto para el ingreso de valores y control de pedido como para la monitorización de alarmas y estado del proceso, tomando como referencia la evaluación cualitativa encontrada en la guía GEDIS, la cual recoge la experiencia de uso del operario.

Análisis de resultados del proceso de producción.

La producción obtenida en el sistema automatizado es 4 veces más rápida que el proceso manual y reduce el desperdicio de material en un 62.5% del total, evitando la fatiga laboral, haciendo uso de un único operario.

El proceso de producción cumple con los requerimientos mínimos de pedidos diarios (200 unidades), en un tiempo promedio de 3 horas y 30 minutos, con productos validados en un rango de tolerancia del 5% en la dosificación.

Presupuesto

Tabla 43.

Costos utilizados en el prototipo

Descripción General	Precio Total
Construcción del prototipo físico	1800 USD
Sensores	120 USD
Sistema de Control	340 USD
Componentes Neumáticos	1200 USD
Interfaz HMI	270 USD
Insumos Varios	269 USD
TOTAL	3999 USD

Nota: Esta tabla muestra los valores utilizados en la implementación del prototipo automatizado.

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El sistema funciona dentro de los parámetros de diseño y realiza las operaciones definidas para cumplir con el llenado y tapado de gel antibacterial en envases de 75ml.

La producción obtenida en el sistema automatizado es 4 veces más rápida que el proceso manual y reduce el desperdicio de material en un 62.5% del total, evitando la fatiga laboral, haciendo uso de un único operario.

La dosificación obtenida en el proceso cumple con los requerimientos planteados, con un valor de 5% de tolerancia, utilizando una etapa de verificación para obtener un producto validado.

El sistema implementado logra cumplir los requerimientos de producción establecidos por la empresa. Consiguiendo el volumen de producción requerido en un tiempo de 3 horas y 30 minutos (200 unidades). Superando el nivel de eficiencia de producción en más de un 200%.

Los valores de calibración establecidos en la dosificación, resultan de un conjunto de pruebas realizadas con el producto, considerando la temperatura (22°C-26°C), el tipo de material a dosificar (gel antibacterial 10000 cP), el tiempo total (2600ms) y el flujo entregado por la bomba (1.73 LPM).

Se ha implementado una interfaz HMI, que permite realizar el pedido y puesta en funcionamiento del sistema. Permitiendo conocer el estado del proceso, los niveles de producción y la supervisión de alertas generadas dentro de la planta.

El proceso implementado se lo ha desarrollado con hardware abierto de bajo costo y realiza todas las operaciones establecidas, sin presentar errores o fallos.

Los tiempos establecidos para cada etapa se encuentran calibrados de acuerdo a las pruebas experimentales, y no pueden ser modificados manualmente.

El sistema es capaz de operar sin interrupciones en ciclos de trabajo de 20 unidades completas, una vez que los almacenes de tapa y gel antibacterial se encuentren llenos en su totalidad.

Recomendaciones

La bomba del sistema dosificador debe trabajar con fluidos de hasta 10000 cP, en caso de obtener fluidos con mayor densidad, el sistema tendrá dificultades en la dosificación.

Se recomienda que el gel antibacterial se encuentre a una temperatura ambiente entre 22°C y 26°C, lo cual garantiza el funcionamiento del proceso de dosificación. En caso de sobrepasar este valor, el líquido cambiará sus propiedades de densidad y el sistema tendría que ser calibrado constantemente.

El sistema está diseñado para operar secuencialmente y depende de la supervisión de un operario que constantemente suministre envases vacíos, retire el producto elaborado y suministre la materia prima en los almacenes de despacho. Por lo que se recomienda capacitar al operario antes de entrar en contacto con el sistema.

La etapa de ajuste tiene una calibración manual del torque requerido. Para la tapa que se utiliza dentro del proceso, se recomienda no sobrepasar el valor de: 18.4 Kg-cm especificado, caso contrario se podrán ver afectadas las tapas o el soporte.

En caso de requerir una mayor o menor producción en un tiempo determinado, se puede variar la velocidad de la banda de transporte dentro del rango (20 rpm-30 rpm), modificando el código del programa en el controlador.

Referencias Bibliográficas

- ABB. (2019). *ABB impulsa el Internet de las cosas, los servicios y las personas (IoTSP) con nuevas soluciones de automatización.*
<https://new.abb.com/drives/es/>
- Ainura L. (2018). *Industrino Products.*<http://www.industrino.com/products.html>
- Arduino. (2 de 5 de 2019). *Store Arduino.*<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- Avellaneda, N. (2009). *Sensores Industriales.*
- Biemme-Italia. (18 de 5 de 2019). *Biemme Italia Store.*
http://www.biemmeitalia.net/bmstore1x/index.php?main_
- Bio-Comfy. (2019). *Matriz FODA.*
- Cerdá Feliu, L. M. (2018). *Automatismos Neumáticos e Hidráulicos.* Madrid, ESPAÑA: Paraninfo, S.A.
- CONELEC. (2016). *Regulacion-No.-CONELEC-004-01.*
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- CORMAQ. (11 de 2015). *Envasadoras Rotativas.*
<http://cormaq.com.bo/industria/productos/ensadora-automatizada-rotativa/>
- Corona, L. G. (2014). *Sensores y Actuadores, Aplicaciones con Arduino.* México: GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A.
- Cortés, M. (2017). *Elección de maquinaria para el envasado de productos líquidos.*
 MAQUIENVAS S.L.
- De la Barrera Gonzalez, A. (2013). *Diseño de un sensor de niveles del líquido, utilizando corriente alterna, en un micro controlador, para apertura o cierre de electroválvulas.*

DirectIndustry. (2020). *Elección de electroválvulas.*

<http://guide.directindustry.com/es/que-electrovalvula-elegir/>

Dositec. (7 de 6 de 2018). *Envasadoras Lineales.*

https://www.articulo.org/articulo/46184/enasadoras_de_baja_capacidad.html

ELECTRIC, S. (2019). *Sensores y Actuadores.*

equitek. (18 de Agosto de 2018). *Envasadora lineal automática.*

<https://equitek.com.mx/enasadora-dnl/>

Espai. (2018). *Proyecto Industrial con Arduino.*

<https://www.espai.es/blog/2016/05/espai-y-arduino/>

Hauser, E. y. (2018). *MEDICIÓN Y CONTROL.*

<http://www.interempresas.net/Medicion/>

Infaimon, S. I. (27 de Junio de 2018). *Envasadora de líquidos, funciones y*

rendimiento.<https://blog.infaimon.com/enasadora-de-liquidos-funciones-y-rendimiento/>

infoPLC. (2019). *Sensores de caudal Magflow con IO-Link.*

<https://www.infoplac.net/noticias/item/104692-ifm-sensores-caudal-magflow>

Item.es. (2020). *Item, Glosario.*[https://glossar.item24.com/es/indice-de-](https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//automatizacion-inteligente-de-bajo-costos)

[glosario/articulo/item//automatizacion-inteligente-de-bajo-costos.](https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//automatizacion-inteligente-de-bajo-costos)

John Hyde, A. C. (1997). *Control electroneumático y electrónico.* Barcelona.

Kerns, M. (2017). *Solenoides AC vs. DC y cómo funcionan.*

<https://www.puromotores.com/13170175/solenoides-ac-vs-dc-y-como-funcionan>

Kurniawan, A. (2019). *Arduino Mega 2560 A Hands-On Guide for Beginner*. Depok: PE Press.

Leung, K. (6 de 12 de 2015). *A Brief History*.

<http://www.kenleung.ca/portfolio/arduino-a-brief-history-3/>

Líderes, R. (08 de 06 de 2018). *Revistalíderes.com*.

<https://www.revistalideres.ec/lideres/comfy-proyecto-salud-higiene-mujeres.html>

Maac. (2019). *Designing a replacement for an obsolete Electro Cam control system in a Maac thermoformer using a Teensy Arduino-compatible*.

<http://redbinary.com/designing-a-replacement-for-an-obsolete-electro-cam-control-system-in-a-maac-thermoformer/>

Metropein. (2019). *Conocimientos básicos sobre células de carga*.

<https://www.metropein.com/conocimientos-basicos-celulas-de-carga/>

Morillo, L. D. (2015). *Automatización de pequeña escala con Open Hardware*.

Tecnología en marcha. Vol 28. Nº1.

Páez, A. (28 de Junio de 2011). *Envasadoras de baja Capacidad*.

https://www.articulo.org/articulo/46184/envasadoras_de_baja_capacidad.html

Roydisa. (2020). *Cilindros Neumáticos*. <https://www.roydisa.es/archivos/2480>

Rs. (2019). *Technology Hubs*. Industry 4.0: [https://www.rs-](https://www.rs-online.com/designspark/industry-40)

[online.com/designspark/industry-40](https://www.rs-online.com/designspark/industry-40)

Rugged Circuits. (2 de 10 de 2018). *Microcontroller Boards*. Obtenido de Ruggeduino:

<https://www.rugged-circuits.com/microcontroller-boards/ruggeduino-special-edition>

Rugged Circuits. (15 de 02 de 2019). <https://www.rugged-circuits.com/microcontroller-boards/rugged-mega>

Rugged Circuits b. (2019). *Rugged Mega*. Rugged Tech: <https://www.rugged-circuits.com/mega-tech>

SIEMENS Corp. (18 de 5 de 2019). *Automation 24*.

<https://www.automation24.biz/siemens-cpu-1212c-6es7212-1be40-0xb0>

Siemens IOT. (2020). *Siemens IOT2020 Puerta de enlace inteligente*. Puerta de enlace inteligente Siemens 10/100 Ethernet RJ45 SD Card USB 2.0, USB Host & Client IoT2020

Simag Industrial Perú S.A. (2019). *Tapadoras de botellas y frascos*.

<http://www.simagindustrialperu.com/maquinas-tapadoras/tapadoras-de-botellas-y-frascos-peru.html>

Solé, C. (2010). *Instrumentación Industrial*.

Soto, L. D. (18 de Agosto de 2015). *Automation of small-sacale with Open Hardware*.

Toledo, M. (s.f.). *Células de carga, módulos de pesaje y sensores de carga*.

https://www.mt.com/es/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Auto-mPrecision/load-cell-and-weigh-module.html

Vegason. (2018). *Medición de nivel con ultrasonidos*.

<https://www.vega.com/es-es/productos/>

Weg. (2016). *Sensores Capacitivos*. <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/>