



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA A ESCALA DE UNA MÁQUINA
TRITURADORA Y PESADORA DE VIDRIO PARA RECICLAJE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES Victor Emilio Almeida Aray
Freddy Josué Pérez Urrutia
TUTOR: Gabriel Santiago García Vásquez

Guayaquil - Ecuador

2024

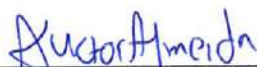
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Victor Emilio Almeida Aray** con documento de identificación N° **1717637738** y **Freddy Josué Pérez Urrutia** con documento de identificación N° **0958307415**; manifestamos que:

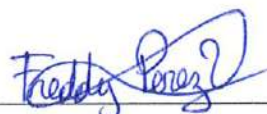
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Victor Emilio Almeida Aray
1717637738



Freddy Josué Pérez Urrutia
0958307415

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Victor Emilio Almeida Aray** con documento de identificación N° **1717637738** y **Freddy Josué Pérez Urrutia** con documento de identificación N° **0958307415**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: PROTOTIPO DE UN SISTEMA A ESCALA DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y PESADORA DE VIDRIO PARA RECICLAJE**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Victor Emilio Almeida Aray
1717637738



Freddy Josué Pérez Urrutia
0958307415

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Gabriel Santiago García Vásquez**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **PROTOTIPO DE UN SISTEMA A ESCALA DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y PESADORA DE VIDRIO PARA RECICLAJE**, realizado por **Victor Emilio Almeida Aray** con documento de identificación N° **1717637738** y por **Freddy Josué Pérez Urrutia** con documento de identificación N° **0958307415**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Ing. Gabriel Santiago García Vásquez MSc.
0920256500

DEDICATORIA

A toda mi familia, por su apoyo incondicional y constante. Sin su amor, comprensión y sacrificio, este logro no habría sido posible.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme un apoyo constante en mi formación y por disponer siempre de los equipos necesarios para mejorar mi conocimiento académico. Su dedicación y compromiso han sido fundamentales en mi desarrollo profesional.

Dedico también este logro a todos los ingenieros que, a lo largo de mi carrera universitaria, fueron un soporte esencial para llegar a este punto. Su guía y conocimientos han sido invaluableles en mi camino.

Victor Emilio Almeida Aray

Dedico este trabajo a mis padres, Blanca Urrutia y Freddy Pérez, quienes han sido mi pilar en este trayecto y mi mayor fuente de inspiración. A mi padre, quien me aconsejó a estudiar esta carrera, me enseñó a trabajar arduamente para conseguir y lograr todos mis objetivos, que me enseñó lo duro que puede ser la vida. A mi madre, por su paciencia y dedicación en no darme por vencido.

Quiero expresar con toda mi gratitud y dedicación de esta investigación a toda mi familia, que siempre ha creído en mí y me ha animado a seguir adelante. A mis abuelos, aunque ya no están físicamente conmigo, me enseñaron que la educación es el puente a una mejor vida para mi familia su legado sigue vivo en mi corazón donde los sueños siempre serán posibles cuando me los proponga como meta.

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que han sido parte de mi vida y me inculcaron sus enseñanzas valores e intercambio de conocimientos.

Freddy Josué Pérez Urrutia

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en este importante capítulo de mi vida. A mi padre, Víctor Manuel Almeida Espinel, por enseñarme el valor del trabajo honrado y la perseverancia. Tus principios y dedicación han sido una fuente constante de inspiración para mí.

A mi madre, Mónica Jaqueline Aray Arteaga, por tu infinita paciencia, por las noches de desvelo y por todos los sacrificios que has realizado durante mi periodo universitario. Sin tu apoyo y amor incondicional, este logro no habría sido posible. A mis hermanos, por su constante soporte a lo largo de toda mi carrera. Gracias por estar siempre ahí, motivándome a seguir adelante y a no rendirme nunca.

Quiero extender mi agradecimiento a toda mi familia, quienes me han apoyado tanto económicamente como moralmente. Su ayuda ha sido crucial para poder culminar mi carrera universitaria, y cada uno de ustedes ha jugado un papel importante en este logro. A todos ustedes, gracias por creer en mí y por ser mi pilar en este viaje. Este logro es tan mío como de ustedes.

Victor Emilio Almeida Aray

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de este trabajo de investigación. En primer lugar, mi profundo agradecimiento a Ing. Gabriel Santiago García Vásquez, cuyo conocimiento y guía han sido indispensables para el desarrollo de este proyecto. Su paciencia, dedicación y retroalimentación constructiva me permitieron alcanzar los objetivos planteados.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a los docentes de la carrera de ingeniería en mecatrónica Ing. Franklín Kuonquí, Ing Carlos Aguilera Sarria, Ing. David Cortez Saravia por su apoyo incondicional y colaboración en diversas etapas de la investigación estudiantil. Su compañerismo hicieron de este proceso una experiencia gratificante.

Un agradecimiento especial a mi familia, quienes me han brindado su amor, apoyo y confianza a lo largo de toda mi vida. Sus valores y enseñanzas han sido mi inspiración para alcanzar esta meta. Por último, quiero agradecer a mis diversos compañeros de la universidad que han formado parte de mi vida, me han ayudado a llegar hasta aquí brindándome sus conocimientos, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este trabajo. Su apoyo, tanto moral como material, ha sido valioso.

Freddy Josué Pérez Urrutia

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un prototipo de una máquina trituradora y pesadora de vidrio para reciclaje. Este sistema se basa en un modelo de sistema molino tipo martillo con cuchillas, que es uno de los modelos clásicos más utilizados para prototipos a escala para el aprendizaje y funcionamiento de este sistema mecatrónico y su diseño. Su principal objetivo radica en la aplicación de un sistema triturador convencional donde se previene la pérdida de vidrio debido a descuidos comunes en procesos de trituradora manuales con o máquinas muy antiguas. De esta forma se podría aplicar máquinas automatizadas modernas que realicen prácticas sostenibles, marcando un impacto positivo en la gestión global de residuos en el país y a nivel global.

Para la ejecución de este prototipo, se cuenta con un sistema de marcha y paro, donde al pulsar marcha se prepara el sensor capacitivo para su detención del primer lote de botellas de vidrio, al caer a su eje donde estará girando el sistema molino tipo martillo con cuchillas se triturarán las botellas y posterior a esto una vez que culmina el primer lote y no se detecte más botellas de vidrio se detiene el motor trifásico, esto para optimizar pérdidas de energías y no se mantenga girando el eje sin detectarse el ingreso de botellas de vidrio, además los residuos trituradoras pasaran por un tamiz donde reposaran sobre una báscula donde se realizará su debido pesaje donde se permitirá observar en la pantalla de nuestra portátil un número en kg. También, se ha añadido un paro de emergencia junto a un (buzzer), alertando sobre posibles riesgos o cualquier anomalía que se detecte como posibles atasco de cualquier objeto durante el desarrollo del proceso .

Palabras claves: sistemas mecatrónico, PLC, variador de frecuencia, motor reductor trifásico, báscula, triturador de vidrio.

ABSTRACT

The objective of this project is the implementation of a prototype glass crushing and weighing machine for recycling. This system is based on a hammer mill with blades, one of the most commonly used classic models for scale prototypes, ideal for learning and understanding the functioning and design of this mechatronic system. Its main objective is to apply a conventional crushing system to prevent glass loss due to common mishandling in manual crushing processes or with very old machines. In this way, modern automated machines that perform sustainable practices could be applied, making a positive impact on global waste management both nationally and internationally.

For the execution of this prototype, a start-stop system is employed. When the start button is pressed, the capacitive sensor is activated to detect the first batch of glass bottles. As they fall onto the axis where the hammer mill with blades is rotating, the bottles are crushed. After processing the first batch and when no more glass bottles are detected, the three-phase motor stops, optimizing energy use and preventing the axis from spinning without processing glass bottles. Additionally, the crushed residues pass through a sieve and rest on a scale for weighing, with the weight displayed on a laptop screen in kilograms. An emergency stop button and a buzzer have also been added to alert about potential risks or any anomalies, such as possible blockages during the process.

Keywords: mechatronic systems, PLC, frequency inverter, three-phase gear motor, scale, glass crusher.

ÍNDICE

| | | |
|-------------|---|-----|
| I. | Introducción | 1 |
| II. | Problema de estudio | 2 |
| III. | Justificación | 3 |
| IV. | Objetivos | 4 |
| IV-A. | Objetivo general | 4 |
| IV-B. | Objetivos específicos | 4 |
| IV-C. | Matriz de objetivos | 4 |
| V. | Fundamentos Teóricos | 5 |
| V-A. | Máquinas trituradoras de vidrio | 5 |
| V-B. | Automatización industrial | 9 |
| V-C. | Comunicaciones Industriales | 9 |
| V-D. | Automatización en la industrias 4.0 | 9 |
| V-E. | Niveles de automatización industrial y funcionamiento del PLC | 10 |
| V-F. | Relé | 11 |
| V-G. | Variador de frecuencia | 13 |
| V-H. | Controladores lógicos programables (PLC) | 14 |
| V-I. | Motores trifásicos | 16 |
| V-J. | Caja reductora | 16 |
| V-K. | HMI (Interfaz virtual Hombre máquina) | 17 |
| V-L. | Tipos de sensores utilizados en la industria | 18 |
| V-M. | Principios de Funcionamiento de los Sensores de Pesaje | 22 |
| VI. | Marco Metodológico | 28 |
| VI-A. | Construcción del soporte - cuadrípode de la máquina trituradora de vidrio | 30 |
| VI-B. | Construcción interna de la máquina trituradora de vidrio | 30 |
| VI-C. | Construcción externa de la máquina trituradora de vidrio | 35 |
| VI-D. | Sistema de transmisión por cadena y engranajes | 36 |
| VI-E. | Diseño de estructuras de la mesa soporte - cuadrípode | 48 |
| VI-F. | Simulaciones de la mesa soporte - cuadrípode | 59 |
| VI-G. | Diseño del molino de martillo con cuchillas | 62 |
| VI-H. | Simulación del eje | 71 |
| VI-I. | Selección de Chumaceras | 73 |
| VI-J. | Cálculo de la Superficie de filtrado | 78 |
| VI-K. | Selección de Pernos | 82 |
| VI-L. | Especificaciones del Perno | 82 |
| VI-M. | Cálculo del Área Transversal del Perno | 83 |
| VI-N. | Factor de Rigidez del Perno K_b | 83 |
| VI-Ñ. | Factor de Rigidez del Elemento K_m | 84 |
| VI-O. | Coefficiente de Carga C | 84 |
| VI-P. | Cargas de Prueba F_p | 84 |
| VI-Q. | Pre-carga del Perno F_i | 84 |
| VI-R. | Diseño e implementación del sistema eléctrico de la máquina trituradora | 85 |
| VI-S. | Programación en lenguaje Ladder direccionado hacia el PLC siemens S7 1200 | 89 |
| VI-T. | Configuración y diseño de HMI direccionado al PLC siemens S7 1200 | 104 |

| | |
|--|-----|
| VII. Resultados | 106 |
| VII-A. Utilidad por día acorde a un número de botellas de vidrio pre-establecido | 106 |
| VII-B. Simulación del interfaz HMI en tiempo real | 108 |
| VII-C. Ensamblado de diferentes componentes de la máquina trituradora de vidrio | 113 |
| VIII. Cronograma | 121 |
| IX. Presupuesto | 124 |
| X. Conclusiones | 125 |
| XI. Recomendaciones | 126 |
| Referencias | 127 |
| Anexo A: Tabla de las cadenas ANSI #50 | 132 |
| Anexo B: Tabla de propiedades del tubo cuadrado | 132 |
| Anexo C: Factor de estabilidad de columna y momento máximo de la viga | 133 |
| Anexo D: Propiedades del acero estructural ASTM A36 | 134 |
| Anexo E: Tabla de cargas constantes permisibles de tamaños mínimos de filete | 135 |
| Anexo F: Tabla de Propiedades del vidrio | 136 |
| Anexo G: Propiedades del metal de aporte | 137 |
| Anexo H: Planos | 138 |
| Anexo I: Manual de Usuario | 145 |
| Anexo J: Normas ISO | 147 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Trituradora de rodillos lisos [9] | 5 |
| 2. | Trituradora de rodillos dentados [10] | 5 |
| 3. | Trituradora de martillo [12] | 7 |
| 4. | Partes de la trituradora de martillos [14] | 7 |
| 5. | Partes de la trituradora por impacto [16] | 8 |
| 6. | Niveles de automatización industriales (sensores y actuadores) [21] | 10 |
| 7. | Entradas/salidas del PLC [22] | 11 |
| 8. | Relé de 11 pines 220 VAC - SCHNEIDER [24] | 12 |
| 9. | Relé de estado sólido (SSR) - MAXGE [26] | 12 |
| 10. | Relé de sobrecarga - WEG [28] | 13 |
| 11. | Relé de protección - EATON [29] | 13 |
| 12. | Variador de frecuencia - ENC [31] | 14 |
| 13. | Controlador lógico programable (PLC) [33] | 15 |
| 14. | Motor trifásico [35] | 16 |
| 15. | Caja reductora [37] | 17 |
| 16. | Interfaz virtual Hombre máquina [39] | 17 |
| 17. | Sensor capacitivo NPN [40] | 18 |
| 18. | Sensor capacitivo PNP [42] | 18 |
| 19. | Sensor inductivo PNP [43] | 19 |
| 20. | Sensor inductivo NPN [45] | 20 |
| 21. | Sensor de reflexión (reflectivos) [47] | 20 |
| 22. | Sensor de barrera (barrera de luz) [49] | 21 |
| 23. | Sensor de proximidad óptico [51] | 21 |
| 24. | Sensor de distancia (láser) [52] | 22 |
| 25. | Sensor de imágenes [53] | 22 |
| 26. | Módulo de amplificación [56] | 23 |
| 27. | Celdas de carga [59] | 24 |
| 28. | Celda de carga GML611 [61] | 24 |
| 29. | Celda de carga CB067 5K [29] | 25 |
| 30. | Módulo de amplificación ADC HX711 [64] | 25 |
| 31. | Módulo de pesaje DVP02LC [66] | 26 |
| 32. | Diagrama de flujo. Fuente: Los autores. | 28 |
| 33. | Muestras de vidrio triturado [68] | 30 |
| 34. | SopORTE cuadrípode [7] | 30 |
| 35. | Varas de acero AISI 1018 [4] | 31 |
| 36. | Soleras de acero [11] | 31 |
| 37. | Soleras con agujero ajustada al eje [11] | 32 |
| 38. | Conexiones HMI - variador de frecuencia - PLC -motor trifásico [11] | 33 |
| 39. | Simulación del motor trifásico en HMI [11] | 33 |
| 40. | Bosquejo de la máquina trituradora de vidrio [7] | 34 |
| 41. | Componentes de un PLC [21] | 34 |
| 42. | Control variador de frecuencia - PLC- motor trifásico [10] | 35 |
| 43. | Construcción de la carcasa [6] | 35 |
| 44. | Modelo máquina trituradora de vidrio [8] | 36 |
| 45. | Factor de servicio [77] | 40 |
| 46. | Factor de diseño para materiales dúctiles [80] | 50 |
| 47. | Perfil angular. Fuente: Los autores. | 55 |
| 48. | Diagrama de cuerpo libre del perfil angular. Fuente: Los autores. | 56 |
| 49. | Simulación de la estructura mesa soporte. Fuente: Los autores. | 60 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 50. | Análisis de fuerzas externas de la estructura tipo mesa soporte. Fuente: Los autores. | 61 |
| 51. | Factor de seguridad de la mesa soporte. Fuente: Los autores. | 61 |
| 52. | Diagrama de cuerpo libre del eje. Fuente: Los autores. | 67 |
| 53. | Simulación del eje - fuerzas aplicadas. Fuente: Los autores. | 72 |
| 54. | Análisis de fuerzas externas en el eje. Fuente: Los autores. | 72 |
| 55. | Factor de seguridad del eje. Fuente: Los autores. | 73 |
| 56. | Coficiente de fiabilidad [88] | 74 |
| 57. | Valores de factor de seguridad [89] | 75 |
| 58. | Características de las chumaceras y rodamientos [89] | 76 |
| 59. | Características de las chumaceras y rodamientos [90] | 77 |
| 60. | Vida útil de cojinetes en base a diferentes aplicaciones [83] | 78 |
| 61. | Capacidad básica del material [91] | 79 |
| 62. | Factor de rechazo [91] | 80 |
| 63. | Factor de semitamaño [91] | 80 |
| 64. | Factor de eficiencia [91] | 80 |
| 65. | Factor de área libre de paso [91] | 81 |
| 66. | Especificación SAE para pernos [83] | 82 |
| 67. | Diámetros y Área de pernos [83] | 83 |
| 68. | Diagrama eléctrico de 120v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores. | 85 |
| 69. | Diagrama eléctrico del motor reductor trifásico de 220v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores. | 86 |
| 70. | Diagrama de Conexiones de las salidas tipo Relé dentro del proceso. Fuente: Los autores. | 87 |
| 71. | Diagrama de Conexiones de las entradas digitales dentro del proceso. Fuente: Los autores. | 88 |
| 72. | Diagrama eléctrico de 120v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores. | 89 |
| 73. | Variables 1 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 90 |
| 74. | Variables 2 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 90 |
| 75. | Variables 3 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 91 |
| 76. | Segmento 1 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 91 |
| 77. | Segmento 2 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 92 |
| 78. | Segmento 3 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 92 |
| 79. | Segmento 4 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 93 |
| 80. | Segmento 5 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 93 |
| 81. | Segmento 6 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 94 |
| 82. | Segmento 7 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 94 |
| 83. | Segmento 8 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 95 |
| 84. | Segmento 9 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 95 |
| 85. | Segmento 10 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 96 |
| 86. | Segmento 11 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 96 |
| 87. | Segmento 12 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 97 |
| 88. | Segmento 13 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 97 |
| 89. | Segmento 14 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 98 |
| 90. | Segmento 15 , 16 y 17 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 98 |
| 91. | Segmento 18 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 99 |
| 92. | Segmento 19 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 99 |
| 93. | Segmento 20 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 100 |
| 94. | Segmento 21 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 100 |
| 95. | Segmento 22 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 101 |
| 96. | Segmento 23 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 101 |
| 97. | Segmento 24 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 102 |
| 98. | Segmento 25 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 102 |

| | | |
|------|--|-----|
| 99. | Segmento 26 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 103 |
| 100. | Segmento 27 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 103 |
| 101. | Segmento 28 de programación ladder. Fuente: Los autores. | 104 |
| 102. | configuración HMI 1. Fuente: Los autores. | 104 |
| 103. | configuración HMI 2. Fuente: Los autores. | 109 |
| 104. | configuración HMI 3. Fuente: Los autores. | 110 |
| 105. | configuración HMI 4. Fuente: Los autores. | 111 |
| 106. | configuración HMI 5. Fuente: Los autores. | 112 |
| 107. | configuración HMI 6. Fuente: Los autores. | 113 |
| 108. | Los engranajes siendo mecanizados. Fuente: Los autores. | 114 |
| 109. | creación de espacio en el eje para dar paso a la cuña Fuente: Los autores. | 114 |
| 110. | Comprobación de longitud de cuña: Los autores. | 115 |
| 111. | Unión del eje con los engranajes: Los autores. | 115 |
| 112. | Corte de cadena a la medida necesaria Fuente: Los autores. | 116 |
| 113. | Corte de cadena a la medida necesaria Fuente: Los autores. | 116 |
| 114. | Plancha de HARDOX 450: Los autores. | 117 |
| 115. | Cuchillas cortadas y afiladas: Los autores. | 117 |
| 116. | ensamble de mesa de soporte: Los autores. | 118 |
| 117. | ensamble de mesa de soporte: Los autores. | 118 |
| 118. | Doble de lamina galvanizada para crear cuello de la maquina trituradora: Los autores. | 118 |
| 119. | Panel eléctrico : Los autores. | 119 |
| 120. | Conexión de la celda de carga al PLC Siemens S7 1200 : Los autores. | 119 |
| 121. | Variador de frecuencia : Los autores. | 120 |
| 122. | Paro de emergencia : Los autores. | 120 |
| 123. | Botones de marcha y paro : Los autores. | 121 |
| 124. | Diagrama de Gantt de las actividades para el desarrollo del proyecto. Fuente: Los autores. | 122 |
| 125. | Diagrama de Gantt de las actividades para el desarrollo del proyecto. Fuente: Los autores. | 123 |
| 126. | Número de cadenas ANSI #50 [78] | 132 |
| 127. | Propiedades del tubo cuadrado de 3mm [80] | 133 |
| 128. | Tabla de esbeltez [81] | 134 |
| 129. | Tabla de propiedades acero ASTM A 36 [82] | 135 |
| 130. | Tabla de propiedades acero ASTM A 36 [83] | 136 |
| 131. | Tabla de propiedades del vidrio [84] | 137 |
| 132. | Propiedades del metal de aporte [83] | 137 |
| 133. | Plano de la mesa soporte - cuadrípode. Fuente: Los autores. | 138 |
| 134. | Plano del techado de la mesa. Fuente: Los autores. | 139 |
| 135. | Plano de las cuchillas. Fuente: Los autores. | 140 |
| 136. | Plano del eje. Fuente: Los autores. | 141 |
| 137. | Plano de la carcasa - cuerpo. Fuente: Los autores. | 142 |
| 138. | Plano del cuello de la tolva. Fuente: Los autores. | 143 |
| 139. | Plano de la tolva. Fuente: Los autores. | 144 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Planteamiento de matriz de objetivos. Fuente: Los autores. | 4 |
| II. | Características principales de la celda de carga GML611 [61] | 24 |
| III. | Características principales de la celda de carga CB-067 5K [62] | 25 |
| IV. | Características principales del módulo de amplificación ADC HX711 [63] | 26 |
| V. | Características principales del módulo de pesaje DVP02LC [65] | 26 |
| VI. | Características técnicas de la trituradora de vidrio. Fuente: Los autores. | 29 |
| VII. | Características del motor. Fuente: Los autores. | 32 |
| VIII. | Costo por botellas de vidrio vs costo por botellas de vidrio trituradas [7] | 36 |

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el reciclaje de vidrio se ha convertido en una prioridad dentro de las estrategias de gestión de residuos, debido a su potencial para reducir el impacto ambiental y fomentar prácticas sostenibles. A pesar de los avances en tecnologías de reciclaje, muchos procesos aún dependen de equipos obsoletos o manuales que a menudo no cumplen con los estándares modernos de eficiencia y efectividad. Este proyecto se centra en abordar estas deficiencias mediante la implementación de un prototipo innovador de máquina trituradora y pesadora de vidrio.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema automatizado basado en un modelo de molino tipo martillo con cuchillas. Este modelo ha sido seleccionado por su relevancia y eficacia en aplicaciones a escala reducida, proporcionando una plataforma adecuada para el aprendizaje y la optimización de sistemas mecatrónicos. La propuesta no solo busca mejorar el proceso de trituración del vidrio, sino también minimizar las pérdidas comunes asociadas con las máquinas antiguas o los métodos manuales. Al hacerlo, se pretende ofrecer una solución moderna que favorezca prácticas sostenibles y tenga un impacto positivo en la gestión global de residuos.

El prototipo diseñado incluye un sistema de marcha y paro que optimiza el funcionamiento de la máquina. Al iniciar el proceso, un sensor capacitivo detecta el primer lote de botellas de vidrio y las dirige hacia el molino, donde son trituradas eficientemente. Una vez procesado el lote y sin detectar más botellas, el motor trifásico se detiene automáticamente para evitar el desperdicio de energía. Los residuos triturados son luego tamizados y pesados, con el peso mostrado en tiempo real en una pantalla portátil. Además, se han incorporado medidas de seguridad, como un paro de emergencia y un buzzer, para alertar sobre posibles riesgos o anomalías durante el proceso.

Este enfoque integral no solo mejora la eficiencia del reciclaje de vidrio, sino que también establece un modelo que puede ser replicado y adaptado para otros sistemas de reciclaje. Al adoptar tecnologías automatizadas tales como: controladores lógicos programables, variadores de frecuencia para el funcionamiento de las revoluciones del motor trifásico, uso de simuladores para el diseño y análisis de esfuerzo, elementos finitos como lo es solidworks. Además se busca contribuir significativamente a la gestión de residuos y a la protección del medio ambiente a nivel local y global.

II. PROBLEMA DE ESTUDIO

Los residuos humanos es algo prehistórico y mientras el crecimiento del ser humano es cada vez más exponencial, así mismo es la cantidad de desechos que se producen diariamente. El aumento de urbanizaciones, acrecentamiento industrial y la variación en las muestras de dispendio debido a la manera de vida actual han creado que un aumento considerado de producción y de desechos sólidos [1].

Según la empresa norteamericana de vidrio O-I, se estimó que para el 2012 en el Ecuador circulaban alrededor de 4.800 millones de botellas de vidrio. Un numero el cual, a pesar de las diferentes leyes ambientales e impuestos aplicados, sigue en aumento año tras año. Según Freddy Vallejo, director comercial de O-I en Ecuador dice “Los envases que sean fabricados con este material (vidrio) preservan mejor el sabor del producto que otros materiales, Un ejemplo, la gaseosa se conserva de mejor manera el gas en una botella de vidrio que en un envase de plástico”. Esta declaración nos permite evidenciar que el consumo de productos en envase de vidrio es preferido por los consumidores en comparación a otros envases [2].

A raíz de esto surge el problema de que pasan con todas las botellas consumidas. En el territorio Ecuatoriano existen diversos negocios y compañías que se dedican a la recolección y reciclamiento de botellas de vidrio, sin embargo, muchas de estas son apartadas ya que su proceso de reciclamiento se encuentra con el problema que muchas de sus máquinas de clasificación y separación son compuestas con tecnologías muy antiguas [3].

Las cuales no tienen la precisión que máquinas más actuales tienen y es complicado adaptarse a estos avances tecnológicos gracias a los altos precios de estas. La presencia de contaminantes en las botellas de vidrio como etiquetas, tapas de botellas, residuos de alimentos u otros materiales no deseados afectan la precisión de la trituración ya que estas pueden interferir con los sensores y dan lugar a errores al momento de la trituración y pesaje de las mismas. El vidrio en mal estado sea por una mayor conductividad térmica o roto en pedazos no adecuados puede ser otros de los factores que podría presentar un problema importante en una máquina recicladora. Los fragmentos con bordes afilados dañan los equipos y causan problemas de seguridad [4].

Las recicladoras de vidrio ocupan un espacio considerable y este es otro de los problemas por el cual no existen muchas más empresas que se dediquen a esto. Se requeriría de una máquina compacta y eficiente que pueda reemplazar a estas grandes máquinas que existen hoy en día en muchas industrias en el Ecuador para que más empresarios vean a este negocio más rentable [4].

III. JUSTIFICACIÓN

La creación del prototipo de una máquina recicladora y pesadora de botellas de vidrio se presenta como una respuesta crucial a los desafíos actuales en la administración y optimización de residuos en el Ecuador. La implementación de tecnologías actuales, en particular la visión artificial, busca abordar las limitaciones existentes en las máquinas de clasificación convencionales.

El enfoque en la precisión de la clasificación, posible gracias a la visión artificial, marca un avance significativo en comparación con las tecnologías obsoletas utilizadas en las máquinas existentes. Este salto tecnológico no solo optimizará la eficacia del proceso de reciclaje, sino que también reducirá la presencia de contaminantes en los materiales reciclados, de esta manera se realiza una gran eficiencia en el ámbito de calidad del reciclaje de botellas de vidrio [5].

La compactidad y eficiencia del prototipo propuesto son elementos claves que abordan la limitación de espacio, un problema recurrente en las actuales trituradoras de vidrio [4]. Al superar esta restricción, el proyecto busca democratizar el acceso al reciclaje de vidrio, haciéndolo más accesible y rentable para un mayor número de empresas en prácticas sostenibles, marcando un impacto positivo en la gestión global de residuos en el país.

Además de los beneficios medioambientales asociados con una gestión más eficiente de botellas de vidrio, la iniciativa también tiene el potencial de generar beneficios económicos. La introducción de un sistema de reciclaje moderno no solo puede reducir costos operativos a largo plazo, sino que también se abrirán nuevas posibilidades para un mejor desarrollo en la industria de reciclaje de vidrio una más robusta y sostenible en el Ecuador [4].

En última instancia, este proyecto no solo apunta a ofrecer una solución técnica a los desafíos actuales en la gestión de residuos de vidrio, sino que también busca inspirar un cambio cultural en la industria hacia prácticas más conscientes y sostenibles. La implementación exitosa del prototipo no solo mitigará los impactos ambientales negativos, sino que también contribuirá al desarrollo de una economía circular más vibrante y responsable en el Ecuador.

Los rendimientos y utilidad al aplicar este proyecto se encuentran en automatizar el procedimiento de reciclaje de botellas de vidrio, disminuir el riesgo de que los fragmentos de vidrio causen daño a los trabajadores a su vez una mayor utilidad con menor inversión de esta forma reduciendo el personal excedente en la industria o empresa.

IV. OBJETIVOS

IV-A. *Objetivo general*

Desarrollar un prototipo de una máquina trituradora automatizado de botellas de vidrio utilizando un plc y una báscula para su reciclaje.

IV-B. *Objetivos específicos*

- Desarrollar un sistema de trituración automatizado de botellas de vidrio utilizando un molino de martillo con cuchillas.
- Construir un sistema de pesaje de botellas de vidrio utilizando una báscula de plataforma.
- Validar la eficiencia de la máquina mediante la comparación del peso de las botellas de vidrio antes y después del proceso de la trituración.

IV-C. *Matriz de objetivos*

Tabla I
PLANTEAMIENTO DE MATRIZ DE OBJETIVOS. FUENTE: LOS AUTORES.

| OBJETIVO | PLANTEAMIENTO | META | INDICADOR | ALCANCE |
|----------|--|---|---|---------|
| OE.1 | Elaborar un sistema automatizado para la trituración de las botellas de vidrio. | Triturar las botellas de vidrio con un error no mayor al 15%. | Triturar cada botella de vidrio acorde a un número de lote establecido con un tamaño no mayor de 6.5 mm a 9 mm. | |
| OE.2 | Crear un sistema de la báscula de plataforma de botellas de vidrio. | Pesar cada lote establecido de las botellas de vidrio con un error no mayor al 15%. | Pesa las botellas de vidrio trituradas acorde a un número de lote establecido. | |
| OE.3 | Validar ambos sistemas planteados mediante las pruebas realizadas en las botellas de vidrio. | Verificar el trabajo en conjunto de ambos sistemas mediante la comparación del peso con una eficiencia del 85%. | Máquina que tritura y pesa las botellas de vidrio del proceso en tiempo real. | |

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

V-A. Máquinas trituradoras de vidrio

Son máquinas diseñadas para reducir el tamaño de materiales sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas [6]. Estas máquinas juegan un rol esencial en diversas industrias, tales como la minería, la construcción, el reciclaje y la manufactura, entre otras. Su función principal es convertir materiales de gran tamaño y volumen en fragmentos más pequeños, ayudando a su manipulación, transporte, almacenamiento o procesamiento posterior [7]. Adicionalmente, las trituradoras se dividen en 3 tipos: de rodillos, de martillo y de impacto.

1. **Las trituradoras de rodillo:** Consiste en dos rodillos giratorios que aplastan el material entre ellos. El vidrio se alimenta entre los rodillos, que giran en direcciones opuestas, y se aplasta gradualmente hasta alcanzar el tamaño deseado. Existen dos tipos de trituradoras de rodillos siendo la de rodillos lisos como muestra en la figura 1 y la de rodillos dentados o estriados en la figura 2. Sus componentes principales son: rodillos y estructura [8].



Figura 1. Trituradora de rodillos lisos [9]



Figura 2. Trituradora de rodillos dentados [10]

Rodillos: El componente principal de la trituradora de rodillos los mismos que están instalados en ejes paralelos que giran en direcciones opuestas. Los rodillos pueden ser de diferentes diámetros y longitud según el diseño de la trituradora.

- a) Eje: Es el componente central sobre el cual se monta el rodillo. El eje proporciona el soporte estructura y permite que el rodillo gire libremente.
- b) Superficie de trituración: Es la parte del rodillo que entra en contacto directo con el material a triturar. Esta superficie puede ser lisa, dentada o estriada.
- c) Recubrimiento o revestimiento: En algunos casos, los rodillos pueden estar revestidos con materiales resistentes al desgaste, como caucho o metal duro, para prolongar su vida útil y mejorar la eficiencia de trituración.
- d) Cojinetes y sistemas de lubricación: Los rodillos están montados en cojinetes que permiten un movimiento suave y libre de fricción durante la rotación. Estos cojinetes suelen estar lubricados para reducir el desgaste y la generación de calor.
- e) Dispositivos de ajuste: Permite el control del tamaño de salida del material triturado. Los rodillos de la trituradora suelen estar montados en un mecanismo que permite ajustar la distancia entre ellos.

Estructura: La estructura de la trituradora proporciona el soporte necesario para los rodillos y otros componentes. Suele estar construida con acero resistente para garantizar la durabilidad y la estabilidad de la máquina durante el funcionamiento [11]. Las partes que la componen son:

- a) Chasis o bastidor: Se trata de la estructura fundamental sobre la que se instalan todos los demás componentes de la trituradora. Debe ser lo suficientemente resistente para soportar las cargas dinámicas que se generan durante el proceso de trituración [10].
- b) Rodamientos: Los rodillos están montados en rodamientos que les permiten girar libremente sobre sus ejes. Estos rodamientos deben ser de alta calidad y capacidad de carga para soportar las fuerzas generadas durante la trituración.
- c) Sistema de transmisión: La energía motriz se transmite a los rodillos a través de un sistema de transmisión, que puede incluir motores, correas, cadenas o engranajes. Este sistema proporciona la potencia necesaria para hacer girar los rodillos y triturar el material.
- d) Sistema de ajuste de brecha: Permite ajustar la distancia entre los rodillos para controlar el tamaño de salida del material triturado. Este sistema puede ser manual o hidráulico [9].
- e) Dispositivos de seguridad: dispositivos como interruptores de seguridad, guardas y sistemas de parada de emergencia para garantizar la seguridad del operador y prevenir accidentes durante la operación de la trituradora.
- f) Sistema de alimentación: Permite alimentar el material a triturar de manera controlada y uniforme entre los rodillos. Puede incluir dispositivos como tolvas de carga, alimentadores vibrantes o transportadores.

2. **Las trituradoras de martillo:** El funcionamiento de una trituradora de martillo empieza cuando el motor comienza a girar, el rotor también comienza a girar a alta velocidad. El material por triturar se introduce en la cámara de trituración a través del sistema de alimentación y es golpeado repetidamente por los martillos giratorios [7]. El impacto de los martillos contra el material lo tritura y lo reduce a un tamaño más pequeño un ejemplo claro de la trituradora de martillo se visualiza en la figura 3.

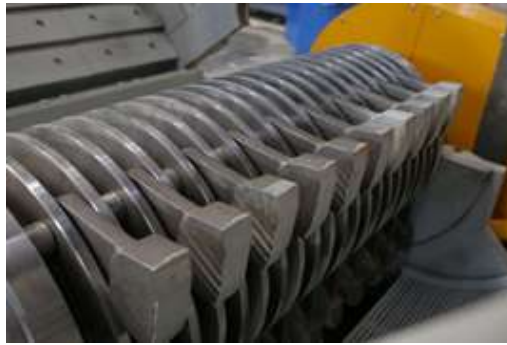


Figura 3. Trituradora de martillo [12]

El material triturado sale de la trituradora a través del tamiz, mientras que el material más grande sigue siendo golpeado por los martillos hasta que alcanza el tamaño deseado [13]. Las partes de la trituradora de martillo se muestra en la figura 4.

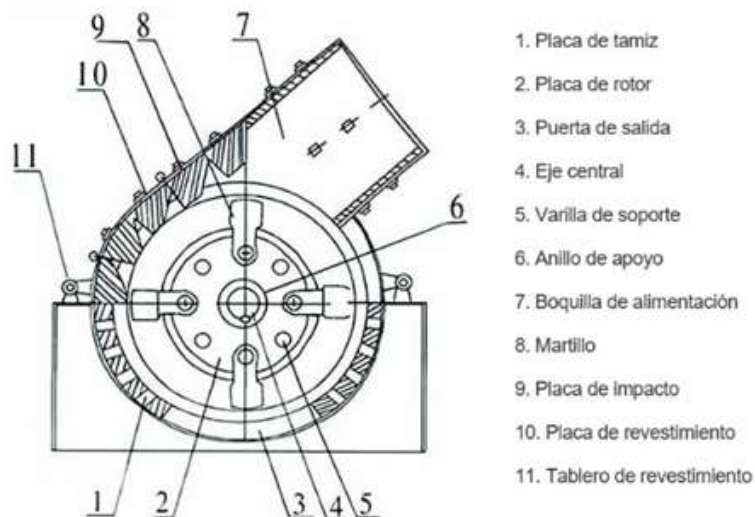


Figura 4. Partes de la trituradora de martillos [14]

A continuación como se componen:

- a) Rotor: El rotor es el componente principal de la trituradora de martillo y consiste en un eje central al que se fijan los martillos. Puede girar a alta velocidad para golpear y triturar el material.
- b) Martillos: Los martillos son piezas de metal que se montan en el rotor y que golpean el material a triturar. Pueden tener diferentes formas y tamaños según la aplicación [14], y suelen estar hechos de acero resistente al desgaste para garantizar una larga vida útil.
- c) Carcasa: La carcasa es la estructura externa que contiene el rotor y los martillos. Está diseñada para soportar las fuerzas generadas durante la trituración y para proteger a los operadores de posibles proyectiles [12].
- d) Tamiz: Algunas trituradoras de martillo están equipadas con un tamiz en la parte inferior de la carcasa para controlar el tamaño de salida del material triturado. El material que cumple con el tamaño deseado

pasa a través del tamiz, mientras que el material más grande queda atrapado y se vuelve a triturar [12].

- e) Sistema de transmisión: La energía motriz se envía al rotor mediante un sistema de transmisión, que puede consistir en correas, cadenas o engranajes. Este sistema suministra la energía requerida para hacer girar el rotor y descomponer el material.
- f) Motor: Proporciona la energía motriz necesaria para hacer funcionar la trituradora. Puede ser eléctrico, diésel o de otro tipo, según la aplicación y las condiciones de funcionamiento.

3. **Las trituradoras de impacto:** Es una máquina diseñada para triturar materiales mediante el impacto de un objeto duro contra ellos. El material por triturar se introduce a través de una abertura en la parte superior. Puede ser alimentado manualmente o mediante un sistema de alimentación automático, como un transportador. Dentro de la trituradora como se muestra en la figura 5, el material se encuentra con un rotor giratorio que está equipado con martillos o barras de impacto en su perímetro exterior [15].

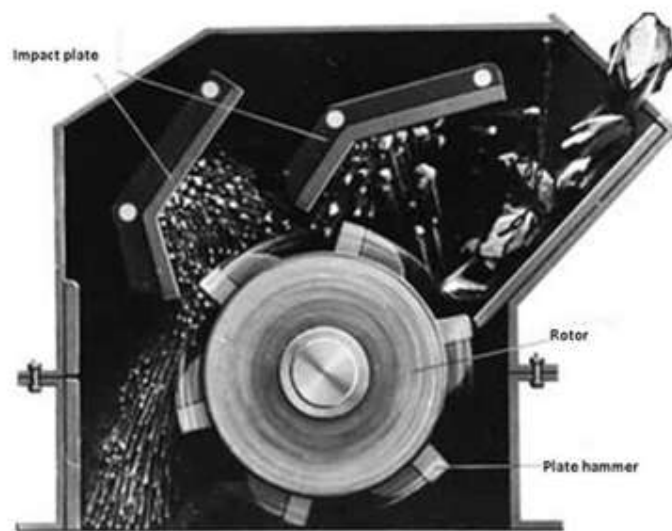


Figura 5. Partes de la trituradora por impacto [16]

Estos martillos o barras giran a alta velocidad y golpean el material con fuerza cuando este entra en contacto con ellos. El impacto del material contra los martillos o barras de impacto causa su fractura y reducción de tamaño [16]. Las partes más importantes de la trituradora de impacto son:

- a) Rotor: Es el componente principal de la trituradora y está montado horizontalmente en el interior de la carcasa. El rotor está equipado con martillos o barras de impacto que giran a alta velocidad. Su función es recibir el material a triturar y transferirle energía cinética para que impacte contra las barras de impacto estacionarias.
- b) Barras de impacto: Son elementos rectangulares o en forma de pala fijados de manera perpendicular al rotor. Estas barras están dispuestas en filas a lo largo del rotor y son los elementos que impactan directamente el material durante su trituración. Pueden ser reemplazables y están diseñadas para resistir el desgaste causado por el impacto repetido del material [15].
- c) Cámara de trituración: Es el espacio dentro de la trituradora donde tiene lugar el proceso de trituración.

- d) Tamiz de salida: Algunas trituradoras de impacto están equipadas con un tamiz en la parte inferior de la carcasa que permite regular el tamaño del material triturado en la salida. El tamiz permite que el material triturado de tamaño adecuado pase a través de él y se descargue, mientras que el material más grande es devuelto al rotor para ser triturado nuevamente.

V-B. Automatización industrial

Un Sistema industrializado puede bifurcarse en operaciones diferentes: lo que corresponde al área operativa y al área de control. En el área operativa entran todo lo que es dispositivos, sistemas mecánicos o subtareas diseñadas para realizar indicaciones específicas de fábrica. Por otro lado, el área de Control o dirección, sin contar con su tecnología (ya sea mecánica, electrónica, neumática, etc.), es el principal soporte encargado de manejar la logística en las diferentes áreas operativas [17].

El control del desarrollo de una operación a nivel industrial conlleva a integrar una serie de elementos y aparatos electrónicos que entreguen una fiabilidad en la parte de control y buena ejecución.

V-C. Comunicaciones Industriales

Las comunicaciones industriales estudian la transmisión de datos entre componentes electrónicos utilizados en el control y supervisión de todos los tramos de la mejora de creaciones industriales. En la década de 1980, comenzaron con un enfoque de comunicación digital punto a punto, evolucionando luego a redes multipunto. Esta evolución ha mejorado significativamente los sistemas de control de procesos y optimizados servicios mediante el control de maquinaria y la supervisión de líneas de producción [18].

El "Bus de campo" se refiere a un conjunto de protocolos de redes industriales usados para el manejo asignado en tiempo real, normalizados bajo el código IEC 61158. En sistemas industriales automatizados, como las líneas de ensamblaje, es común utilizar un sistema de control distribuido jerárquico. En la cima de esta jerarquía se encuentra la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), que permite al operador examinar y operar el sistema. Esta HMI se conecta generalmente a una capa intermedia compuesta por Controladores Lógicos Programables (PLC), utilizando sistemas de comunicación como Ethernet. El nivel más bajo de control está constituido por el bus de campo, que conecta los PLCs con sensores, actuadores, motores, indicadores, válvulas y relés, reemplazando las conexiones punto a punto tradicionales [18].

Una red industrial es una serie de dispositivos conectados para compartir información de manera accesible. Las redes industriales incluyen nodos como PC industriales, controladores, sistemas de control distribuido, transductores y módulos inteligentes. Su objetivo es facilitar la comunicación entre autómatas programables (PLCs) en diversas topologías como bus, estrella, árbol o anillo. Los protocolos incluyen Controlnet, Profibus DP, Data Highway + e Industrial Ethernet. Sin embargo, con el progreso de la tecnología y la adopción de la Industria 4.0, los buses basados en comunicación serial y protocolos como RS485 están siendo reemplazados por redes basadas en Industrial Ethernet [19].

Industrial Ethernet se destaca por ofrecer mayores velocidades de comunicación, mayor capacidad de transmisión de datos y la habilidad de manejar muchos dispositivos conectados simultáneamente. Es ideal para la automatización avanzada y la selección de información en tiempo real, fundamentales para la Industria 4.0. Su robustez, flexibilidad y confiabilidad la convierten en una opción atractiva para empresas que buscan mejorar sus actividades y afrontar los retos de los cambios digital en la industria [19].

V-D. Automatización en la industrias 4.0

La Industria 4.0 se relaciona a la automatización de sistemas y operaciones industriales, conectándolos a través del Internet de las Cosas (IoT) y el Internet de los Servicios para mejorar la adaptabilidad y personalización en la producción. Esta nueva era se caracteriza por tecnologías avanzadas que permiten soluciones flexibles, inteligentes

y autónomas, transformando la industria y las empresas mediante tecnologías emergentes disruptivas [20].

La Industria 4.0 integra tecnologías digitales, inteligencia artificial, automatización avanzada y análisis de datos en la industria. Promueve fábricas inteligentes donde los sistemas ciber físicos y humanos se comunican en tiempo real. La automatización flexible y la personalización masiva son algunos de sus logros. Su verdadero potencial se realiza al combinarse con el IoT [20].

El IoT es una red global de dispositivos conectados que se comunican automáticamente. Estos dispositivos, equipados con sensores y actuadores, abarcan desde maquinaria industrial hasta electrodomésticos inteligentes. El IoT permite la recolección y el intercambio masivo de datos en tiempo real, facilitando decisiones informadas y la anticipación de problemas. La combinación de la Industria 4.0 con el IoT crea un ecosistema sinérgico conocido como "Tecnologías Convergentes". Los datos en tiempo real de sensores y dispositivos IoT optimizan la producción, permiten el mantenimiento predictivo y mejoran la toma de decisiones. La automatización inteligente responde rápidamente a cambios en la demanda o condiciones de producción, haciendo las fábricas y productos más conectados y adaptables. Además, las "tecnologías convergentes" colaboran con otras para crear nuevas soluciones transformadoras, mientras que las "tecnologías habilitadoras" promueven la evolución y transformación en diversos contextos.

V-E. Niveles de automatización industrial y funcionamiento del PLC

Es importante antes de comenzar a utilizar un PLC, reconocer los diferentes componentes que se pueden utilizar y sus distintas conexiones tales como: profibus y profinet. Es necesario comprender los diferentes niveles de automatización industriales como se visualiza en la figura 6 puesto que existen: el nivel de campo, de control y de gestión [21]. Se conocerá el tipo de nivel que se profundizará y basará el estudio de la máquina trituradora de vidrio.

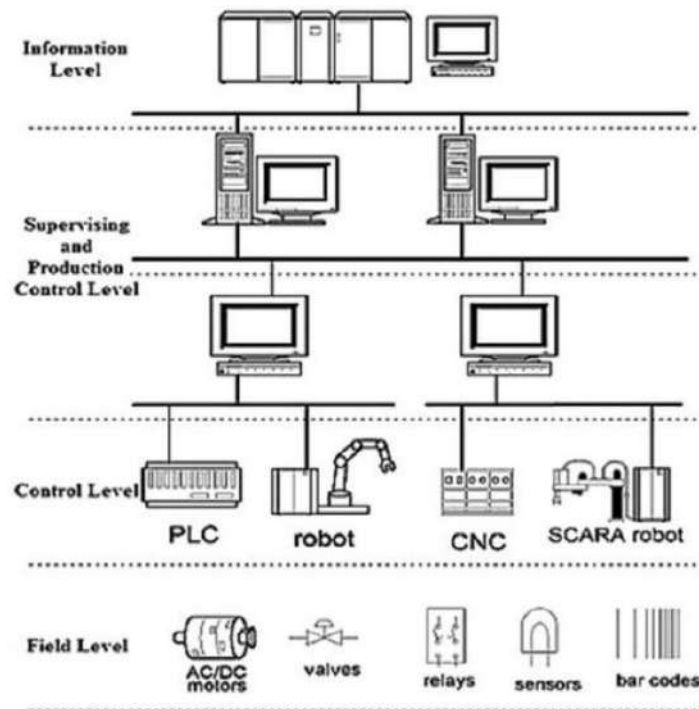


Figura 6. Niveles de automatización industriales (sensores y actuadores) [21]

Hoy en día con el avance de la automatización industrial, se puede utilizar tanto como computadoras y robots para el control de los procesos industriales, tal es así como la producción de diferentes materiales sin la intervención humana. Este procedimiento al realizarse no solo optimiza el tiempo de trabajo sino también sus ganancias, es decir en otros terminos los ingresos mejoran en la compañía o empresa donde se instalará la automatización de este modo ofreciendo una mejor calidad, seguridad y precisión.

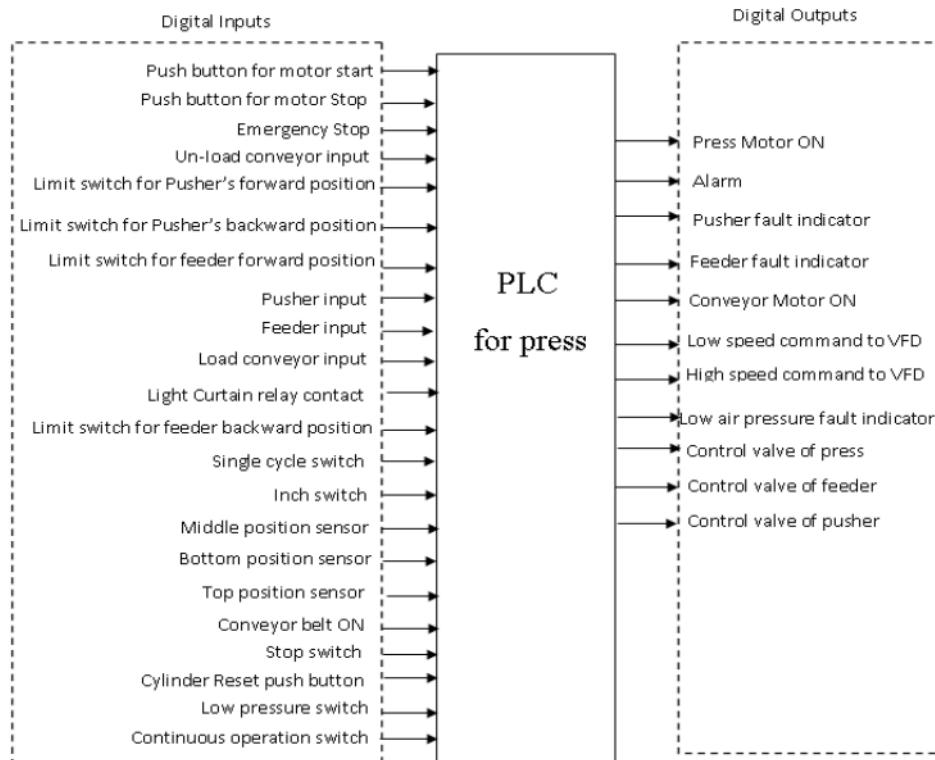


Figura 7. Entradas/salidas del PLC [22]

También es necesario comprender el funcionamiento de las entradas digitales y salidas digitales del PLC como se muestra en la figura 7, para este caso reconocer las botoneras de marcha y paro del motor trifásico o monofásico que se utilizará y a su vez la velocidad del variador de frecuencia si es alta o baja. También para conocer donde se ubicará el botón de emergencia de la máquina trituradora de vidrio ya que es fundamental que toda maquinaria cuente con este botón y de esta forma visualizando la salida digital de encendido de la alarma de emergencia [22].

V-F. Relé

Es un dispositivo eléctrico mecánico como se observa en la figura 8 actúa como un interruptor eléctrico. Se utiliza para encender o apagar un circuito mediante una señal de control de bajo voltaje, lo que permite controlar más potencia sin contacto directo. Los relés son esenciales para la automatización, control y protección de circuitos eléctricos. Cuando la bobina del solenoide se energiza, crea un campo magnético que atrae la armadura. Esta acción activa o desactiva el control secundario cambiando la posición de los contactos [23].



Figura 8. Relé de 11 pines 220 VAC - SCHNEIDER [24]

Componentes básicos de un relé:

- Electroimán: Genera un campo magnético cuando pasa corriente eléctrica.
- Armadura: Una pieza móvil que es atraída por el electroimán.
- Contactos: Los interruptores que abren o cierran el circuito. Pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados.
- Resorte: Devuelve la armadura a su posición original cuando se desactiva el electroimán.

Tipos de relés:

1. **Relé de estado sólido (SSR):** Es un dispositivo de conmutación electrónico que utiliza dispositivos de estado sólido (como transistores, tiristores o triacs) tal y como visualiza en la figura 9 donde este relé de estado sólido (SSR) en lugar de actuar en un circuito abierto o cerrado. Los SSR son conocidos por su alta flexibilidad, confiabilidad y larga vida útil porque no tienen piezas de desgaste. Los relés de estado sólido son esenciales en aplicaciones donde se requiere velocidad, confiabilidad y longevidad, ya que brindan un control eficiente y silencioso de una variedad de equipos eléctricos y electrónicos [25].



Figura 9. Relé de estado sólido (SSR) - MAXGE [26]

2. **Relé de sobrecarga:** Es un dispositivo de protección que se utiliza para proteger generadores y otros equipos de sobrecargas que pueden causar daños debido a una sobrecarga prolongada. Estos relés son una parte importante del control del motor y a menudo se encuentran en circuitos de protección y arrancadores de motores. En la figura 10 se muestra un relé de sobre carga donde el objetivo principal del relé de sobrecarga es cortar la alimentación al motor cuando la corriente excede un nivel preestablecido durante un cierto período de tiempo. Este tipo de protección es importante porque la sobrecarga puede causar sobrecalentamiento, lo

que puede dañar el motor o acortar su vida útil [27].



Figura 10. Relé de sobrecarga - WEG [28]

3. **Relé de protección:** Es un dispositivo que monitorea y protege los sistemas eléctricos detectando situaciones anormales (como sobrecorriente, cortocircuito, falla a tierra, cambios de voltaje y frecuencia, etc.). En la figura 11 se muestra un relé de protección donde su tarea principal es identificar estas condiciones y activar mecanismos de protección, como descargas eléctricas, para aislar las áreas afectadas y evitar mayores daños eléctricos. Los relés de protección monitorean constantemente diferentes parámetros eléctricos (corriente, voltaje, frecuencia, etc.) y comparan estos valores con mediciones anteriores. Cuando detecta una diferencia significativa, envía una señal para interrumpir el circuito, evitando daños al producto y mejorando la seguridad eléctrica [27].



Figura 11. Relé de protección - EATON [29]

V-G. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia (VDF) o convertidor de frecuencia o inversor es un dispositivo eléctrico que controla la velocidad y el par de un motor de corriente alterna (CA) controlando la frecuencia y el voltaje de la corriente del motor que alimenta el motor. En la figura 12 se visualiza un variador de frecuencia donde este VDF es utilizado ampliamente en aplicaciones comerciales e industriales para aumentar la eficiencia energética, el control de procesos y la vida útil de los equipos. El principio de conversión de frecuencia es convertir corriente (CA) de frecuencia fija a CA variable [30].



Figura 12. Variador de frecuencia - ENC [31]

Esto pasa en 3 etapas:

1. **Rectificación:** La corriente alterna de entrada es transformada en corriente continua a través de un rectificador. Este procedimiento suprime las oscilaciones de la corriente, generando una señal de corriente continua estable.
2. **Filtrado:** Un filtro de condensadores suaviza la señal corriente continua, eliminando los rizados y mejorando la calidad de la corriente.
3. **Inversión:** Un inversor convierte la corriente continua de nuevo a corriente alterna, pero con frecuencia y voltaje ajustables. Utiliza una serie de transistores de potencia para conmutar la corriente a alta velocidad y crear una señal de salida de frecuencia variable.

Diferentes variadores de frecuencia en el mercado:

- Siemens: Los convertidores de frecuencia de la marca Siemens, denominados SINAMICS, son conocidos por su calidad, versatilidad y eficiencia. Siemens ofrece una amplia gama de variadores para una variedad de aplicaciones industriales, comerciales y residenciales.
- Schneider electric: Schneider Electric ofrece una amplia gama de variadores de frecuencia bajo la serie Altivar. Estos variadores están diseñados para mejorar la eficiencia y el control de los motores eléctricos en diversas aplicaciones industriales y comerciales.
- Delta electronic: Los variadores de frecuencia de Delta Electronics son conocidos por su confiabilidad, rendimiento y eficiencia en sistemas de control electrónico. La línea de variadores de frecuencia de Delta incluye líneas de productos que van desde uso general hasta servicio pesado.
- Chint electric: Es una empresa reconocida que ofrece una amplia gama de productos en la industria de la automatización, incluidos convertidores de frecuencia. Los variadores de frecuencia Chint son conocidos por su confiabilidad y capacidad para brindar soluciones eficientes para controlar motores.

V-H. Controladores lógicos programables (PLC)

Es un dispositivo electrónico utilizado en automatización industrial para controlar procesos, máquinas y sistemas por diseño. En la figura 13 se visualiza un controlador lógico programable (PLC) son importantes en los negocios modernos debido a su capacidad para realizar tareas de control complejas y su flexibilidad para adaptarse a una variedad de aplicaciones [32].



Figura 13. Controlador lógico programable (PLC) [33]

Características generales de un PLC:

- Programabilidad: Los PLC se pueden diseñar utilizando lenguajes de programación especializados, como escaleras lógicas, scripts o diagramas de bloques de funciones, para implementar diversas funciones de control.
- Entradas y salidas: las entradas Reciben señales sobre los procesos de sensores, interruptores y otros dispositivos. Mientras la salida Envían señales a actuadores, relés y otros dispositivos para controlar el proceso según la lógica programada.
- Procesamiento de datos: El PLC procesa la entrada y ejecuta los procedimientos de control especificados en el programa. Luego envían señales para controlar los dispositivos conectados.
- Robustez y fiabilidad: Los PLC están diseñados para funcionar en entornos industriales hostiles y soportar condiciones como vibraciones, temperaturas extremas y perturbaciones eléctricas.
- Modularidad: Muchos PLC tienen un diseño modular que permite agregar o modificar módulos de entrada, salida, comunicaciones y otros según las necesidades del sistema.
- Comunicación: Los PLC pueden comunicarse con otros PLC, sistemas SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) y sistemas de nivel superior utilizando una variedad de métodos de comunicación empresarial.

Partes Principales de un PLC:

1. **(CPU):** Es el cerebro del programador lógico que opera el sistema de control. Es responsable de tratar señales de entrada, completar la lógica de control y generar señales de salida.
2. **Módulos de Entrada (I/O):** Hay dos tipos los cuales son las entradas digitales las cuales reciben señales digitales (encendido/apagado) de sensores y dispositivos. Y las entradas analógicas las cuales reciben señales analógicas (como voltaje o corriente) de sensores que proporcionan información continua.
3. **Módulos de salida:** Existen las salidas digitales y las analógicas. Las digitales envían señales digitales a actuadores, relés y otros dispositivos. Mientras las salidas analógicas envían señales analógicas para controlar dispositivos que requieren señales de voltaje o corriente variables.
4. **Fuente de alimentación:** entrega la fuente eléctrica justa para que funcione el Programador lógico y sus módulos.
5. **Módulos de comunicación:** Facilitan el intercambio de información entre el Programador lógico y otros dispositivos o sistemas mediante protocolos de red industriales.
6. **Panel de programación:** Dispositivo o software usado para programar el PLC y configurar sus parámetros.

Diferentes PLC en el mercado:

- Siemens: Siemens es uno de los mayores desarrolladores a nivel mundial de PLC (Controladores Lógicos Programables) y cuenta con una amplia gama de productos SIMATIC. Estos PLC son conocidos por su robustez, robustez y capacidad para integrarse en entornos empresariales complejos.

- **Schneider Electric:** Schneider Electric dispone de una amplia gama de PLC (Controladores Lógicos Programables) conocidos por su fiabilidad, flexibilidad y alto rendimiento. La serie de PLC más famosa de Schneider Electric es la serie Modicon.
- **Delta Electronics:** Delta Electronics ofrece una amplia gama de PLC (controladores lógicos programables) conocidos por su confiabilidad, rendimiento y capacidad de integración en la industria. La serie de PLC más popular de Delta incluye la serie DVP.
- **Chint Electric:** Chint Electric ofrece una amplia gama de PLC (controladores lógicos programables) conocidos por su confiabilidad, flexibilidad y eficiencia. Los PLC de Chint están diseñados para satisfacer una amplia gama de necesidades en aplicaciones industriales, desde controles simples hasta sistemas múltiples.

V-I. Motores trifásicos

Es un generador que funciona con corriente alterna (CA) trifásica. Este tipo de motores se utilizan ampliamente en aplicaciones comerciales debido a su eficiencia, potencia y capacidad para manejar objetos grandes. En la figura 14 se muestra motor trifásico donde la corriente trifásica es una forma de equipo eléctrico que utiliza tres corrientes alternas con una diferencia de fase de 120 grados, proporcionando una energía más estable y eficiente que un sistema monofásico [34].



Figura 14. Motor trifásico [35]

Componentes de los motores trifásicos:

- **Estator:** Es el componente fijo del motor que alberga el sistema de bobinas encargado de generar el campo magnético rotatorio.
- **Rotor:** Es la parte giratoria del motor que se encuentra dentro del estator el cual transforma el campo magnético en movimiento rotacional.
- **Carcasa:** Es la estructura exterior que protege y aloja el estator y el rotor. También proporciona soporte para los componentes del motor y ayuda a disipar el calor.
- **Eje:** Es el componente rotativo del motor que transmite el movimiento del rotor a la carga o al equipo que el motor acciona.
- **Escobillas y anillos colectores:** Permiten la transferencia de corriente eléctrica al motor.
- **Sistema de enfriamiento:** Sistemas para enfriar el motor y mantener una temperatura de operación adecuada.

V-J. Caja reductora

Es un dispositivo mecánico que utiliza un mecanismo de engranajes para reducir la fuerza del cuerpo y aumentar la potencia a transmitir a la carga tal y como se visualiza en la figura 15 una caja reductora. Se coloca entre el generador y el equipo a operar, asegurando que la velocidad y potencia del generador se adapten a los requisitos específicos de la aplicación [36].



Figura 15. Caja reductora [37]

Componentes de la caja reductora:

- **Carcasa:** Es la estructura externa que alberga y resguarda los componentes internos de la caja reductora. Esta diseñada para soportar las cargas mecánicas y proteger los engranajes del polvo y otros contaminantes.
- **Engranajes:** Los engranajes son los componentes clave que realizan la reducción de velocidad. Transmiten el movimiento rotacional del motor al eje de salida, alterando la velocidad y el par.
- **Ejes:** Son los componentes que transmiten el movimiento de los engranajes al equipo accionado.
- **Rodamientos:** Soportan los ejes y permiten que giren suavemente dentro de la carcasa. También reducen su fricción y desgaste.
- **Sellos y juntas:** Los sellos y juntas se utilizan para evitar fugas de lubricante y proteger los componentes internos de la entrada de contaminantes.
- **Sistema de lubricación:** Es esencial para reducir la fricción entre los engranajes y prolongar la vida útil de la caja reductora.
- **Tapas y cubiertas:** Protegen los componentes internos de la caja reductora y permiten el acceso para su mantenimiento y revisión.

V-K. HMI (Interfaz virtual Hombre máquina)

HMI es una interfaz virtual que permite a los propietarios de empresas interactuar con sistemas de control y automatización. Como se muestra en la figura 16 esta interfaz virtual tiene como función principal proporcionar a los usuarios información y formas visuales de monitorear y gestionar los procesos comerciales. Una HMI puede ser un dispositivo físico con una pantalla táctil y botones, o puede ser un software que se ejecuta en una computadora o dispositivo móvil [38].



Figura 16. Interfaz virtual Hombre máquina [39]

V-L. Tipos de sensores utilizados en la industria

1. **Sensor capacitivo:** Es un dispositivo electrónico que puede detectar la existencia o falta de un objeto sin un roce presencial, basándose en cambios en la capacitancia.

a) Sensor capacitivo NPN: En la figura 17 se muestra un sensor capacitivo NPN. Estos sensores pueden detectar materiales tanto conductores como no conductores, incluyendo líquidos, plásticos, metales y más [40].



Figura 17. Sensor capacitivo NPN [40]

- Tipo de Salida: NPN (Negative-Positive-Negative), significa que cuando el sensor detecta un objeto, conecta la salida a tierra (0V).
 - Rango de Detección: Varía según el diseño y el tamaño del sensor, típicamente de unos pocos milímetros a varios centímetros.
 - Material de Detección: Puede localizar un rango de variedad de componentes, englobando plásticos, líquidos, papel, vidrio y metales.
 - Sin Contacto: No necesita trato presencial con el objeto a detectar, lo que reduce el desgaste y aumenta la durabilidad.
- b) Sensor capacitivo PNP: Es un tipo de sensor utilizado para detectar objetos o materiales mediante la medición de cambios en la capacitancia. Estos detectores son comúnmente usados en aplicaciones industriales debido a su competencia para localizar una variedad de materiales, tanto conductores como no conductores [41].

A continuación en la figura 18 se muestra un sensor capacitivo PNP.



Figura 18. Sensor capacitivo PNP [42]

- PNP: En un sensor PNP, el terminal de salida del sensor se conecta a una carga positiva cuando se detecta un objeto. La corriente fluye desde el sensor a la carga (positivo a negativo).

- Salida: Cuando el sensor detecta un objeto, la salida del sensor se activa y suministra una señal positiva al controlador o sistema conectado.
 - Detección de Materiales: Los sensores capacitivos pueden detectar una amplia gama de materiales, incluyendo plásticos, vidrio, líquidos y metales. Son especialmente útiles para detectar materiales no conductores que no pueden ser detectados por sensores inductivos.
2. **Sensor inductivo:** Es un tipo de sensor utilizado para descubrir la existencia de objetos metálicos sin contacto físico. Estos sensores son comúnmente empleados en aplicaciones industriales debido a su durabilidad y exactitud en la detección de objetos metálicos
- a) **Sensor inductivo PNP:** Los sensores inductivos funcionan mediante un campo electromagnético. Contienen una bobina que genera un campo electromagnético alrededor del sensor. En la figura 19 se muestra un sensor inductivo PNP. Cuando una presencia de metal se aproxima al sensor, excita el campo magnético, lo que causa una modificación en la inductancia de la bobina. La variación en la inductancia es detectada por la electrónica del sensor, que convierte este cambio en una señal de salida [43].



Figura 19. Sensor inductivo PNP [43]

- PNP: En un sensor PNP, la salida del sensor se conecta a la carga positiva cuando el sensor detecta un objeto. La corriente fluye desde el sensor hacia la carga (positivo a negativo).
 - Salida: El sensor PNP proporciona una señal de salida positiva cuando detecta un objeto metálico. Esto significa que cuando se detecta un objeto, la salida del sensor se activa y suministra una señal positiva a través del terminal de salida.
- b) **Sensor inductivo NPN:** Es un tipo de sensor fabricado para descubrir el aproximamiento de objetos metálicos sin la urgencia de presencia física. Estos detectores se basan en el principio de inductancia para detectar modificaciones en el campo magnético cuando una presencia de metal esta cerca. Son comúnmente aplicados en usos industriales gracias a su robustez y fiabilidad. En la figura 20 se muestra un sensor inductivo NPN donde utilizan una bobina para generar un campo electromagnético. Cuando la presencia metálica esta cerca del sensor, modifica el campo magnético, lo que afecta la inductancia de la bobina. Esta variación es detectada por la electrónica del sensor. La alteración en la inductancia se transforma en una señal de salida que nos señala la presencia del material metálico [44].



Figura 20. Sensor inductivo NPN [45]

- NPN: En un sensor NPN, la salida del sensor se conecta a tierra o a una carga negativa cuando se detecta un objeto. Esto significa que el sensor proporciona una señal de salida negativa (o baja) cuando detecta un objeto metálico, activando la carga conectada.
- Salida: El sensor NPN tiene una salida que se cierra a tierra cuando detecta un objeto. Esto es útil en sistemas donde se requiere una señal de bajo nivel para activar otros dispositivos.

3. **Sensores ópticos:** Los sensores ópticos son instrumentos que detectan objetos o transformaciones en su entorno utilizando la luz. Estos detectores son regularmente usados en diversas operaciones industriales y comerciales gracias a su precisión y aptitud para detectar una variedad de materiales sin contacto físico.

a) Sensores de reflexión (reflectivos):

- Funcionamiento: lanza un rayo de luz (generalmente infrarroja) que se refleja en un material y retorna al detector. En la figura 21 se muestra un sensor de reflexión (reflectivos) donde detecta la modificación en la luz reflejada para diagnosticar la presencia del objeto [46].
- Aplicaciones: Detección de presencia y conteo de objetos en cintas transportadoras, y control de nivel en recipientes.
- Ventajas: Simplicidad en la instalación y operación, y puede detectar objetos sin contacto físico.
- Desventajas: La precisión puede verse afectada por superficies reflectantes o sucias.



Figura 21. Sensor de reflexión (reflectivos) [47]

b) Sensores de Barrera (Barrera de Luz):

- Funcionamiento: Consisten en un emisor y un receptor separados. En la figura 22 se muestra un sensor de barrera (barrera de luz). El sensor detecta la presencia de un objeto cuando interrumpe el rayo de luz entre el emisor y el receptor [48].

- Aplicaciones: Contar objetos, detectar la presencia de personas en entradas, y seguridad en puertas automáticas.
- Ventajas: Precisión en la detección de objetos y puede ser efectivo a mayores distancias.
- Desventajas: Requiere una línea de visión clara entre el emisor y el receptor.



Figura 22. Sensor de barrera (barrera de luz) [49]

c) Sensores de Proximidad Ópticos:

- Funcionamiento: Detectan objetos sin necesidad de contacto, En la figura 23 se muestra un sensor de proximidad óptico donde este sensor utiliza un campo de luz para identificar la presencia de objetos en proximidad [50].
- Aplicaciones: Detección de posición de piezas en maquinaria, y monitoreo de posiciones en sistemas automatizados.
- Ventajas: Ofrecen alta precisión y son adecuados para detectar objetos de diversos tamaños y materiales.
- Desventajas: Pueden ser sensibles a la luz ambiental y a la contaminación en el entorno.



Figura 23. Sensor de proximidad óptico [51]

d) Sensores de Distancia (láser):

- Funcionamiento: Utilizan un láser para medir la distancia entre el sensor y el objeto midiendo el tiempo que tarda la luz en regresar al sensor [50].
- Aplicaciones: Medición de distancias, mapeo de entornos, y navegación en robots.
- Ventajas: Alta precisión y capacidad para medir distancias a largas distancias.

- Desventajas: Costo relativamente alto y sensibilidad a condiciones ambientales adversas.

En la figura 24 se muestra un sensor de distancia de láser.



Figura 24. Sensor de distancia (láser) [52]

e) Sensores de Imágenes:

- Funcionamiento: Capturan imágenes y utilizan algoritmos para procesar y analizar las imágenes en la figura 25 se muestra un sensor de imágenes sirven para detectar objetos, leer códigos de barras o realizar inspecciones visuales [53].
- Aplicaciones: Inspección de calidad, lectura de códigos de barras, y reconocimiento de patrones.
- Ventajas: Capacidad para realizar tareas complejas y de visión avanzada.
- Desventajas: Requiere procesamiento de imágenes y puede ser más costoso y complejo.

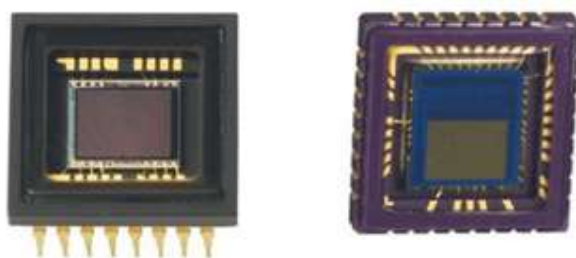


Figura 25. Sensor de imágenes [53]

V-M. Principios de Funcionamiento de los Sensores de Pesaje

Aplicaciones del Sensor de Pesaje en Trituradoras de Vidrio

El sensor de pesaje se integra en la base de la máquina trituradora de vidrio para monitorear la cantidad de vidrio triturado. Esto permite un control preciso de la cantidad de material procesado, optimizando la eficiencia y garantizando la seguridad operativa [54].

1. **Principios de los módulos de amplificación:** Los módulos de amplificación son dispositivos diseñados para aumentar la señal de salida de un sensor o transductor, como una celda de carga, a un nivel utilizable por otros dispositivos de medición o control, como un PLC (Controlador Lógico Programable). En la figura 26 se muestra un módulo de amplificación. Estos módulos son esenciales cuando la señal generada por el sensor es demasiado débil para ser procesada directamente [55].



Figura 26. Módulo de amplificación [56]

- a) Señal de entrada y salida: Los sensores de pesaje, como las celdas de carga, producen una señal de salida en milivoltios (mV) que es proporcional a la carga aplicada. Esta señal es muy pequeña y susceptible a interferencias. Los módulos de amplificación reciben esta señal débil y la convierten en una señal más fuerte y estable, normalmente en voltios (V) o miliamperios (mA), que puede ser procesada por equipos de control y monitoreo [55].
 - b) Ganancia: La ganancia de un amplificador se define como la proporción entre la señal de salida y la señal de entrada. Se expresa como un factor multiplicador. Por ejemplo, si un amplificador tiene una ganancia de 1000, una señal de entrada de 2 mV se amplificará a 2 V en la salida. La ganancia puede ser fija o ajustable dependiendo del diseño del módulo de amplificación [55].
2. **Amplificadores de instrumentación:** Estos amplificadores están diseñados para tener una alta precisión y estabilidad. Utilizan una configuración diferencial para amplificar la diferencia entre dos señales de entrada mientras rechazan las señales comunes a ambas entradas (ruido y interferencias). Ejemplos de estos amplificadores son el AD620 y los de la serie INA de Texas Instruments.
 3. **Amplificadores de señal de carga:** Estos son amplificadores específicos para celdas de carga y sensores de pesaje. Están diseñados para manejar señales muy pequeñas y proporcionar una salida adecuada para sistemas de control. Ejemplos incluyen los amplificadores de la serie CWB de HBM y los amplificadores de la serie 2100 de Vishay [57].
 4. **Amplificadores programables:** Algunos amplificadores permiten ajustar la ganancia y otros parámetros mediante interfaces digitales o software. Esto es útil para aplicaciones que requieren flexibilidad y adaptación a diferentes condiciones de operación [57].

Principio de la celda de carga

Los sensores de pesaje funcionan basados en el principio de la celda de carga, la cual convierte una fuerza (peso) en una señal eléctrica. En la figura 27 se muestra una celda de carga donde se dicha conversión se realiza mediante la deformación de un elemento metálico que genera una variación en la resistencia eléctrica, detectada por galgas extensométricas adheridas a la superficie del elemento [58].



Figura 27. Celdas de carga [59]

1. **Galgas extensométricas:** Las galgas extensométricas son transductores que miden la deformación (strain) en un material. Su uncionamiento se basa cuando se aplica una carga, la galga se deforma y su resistencia cambia. Este cambio en resistencia es proporcional a la deformación y, por ende, a la carga aplicada [60].

2. **Tipos de celda de carga:**

a) Celda de carga GML611: El vidrio molido que cae sobre una caja debe ser pesado y el resultado debe ser mostrado en una interfaz HMI. En la figura 28 se muestra un ejemplo de celda de carga GML611 esta celda presenta características adecuadas para soportar el rango de peso (10 kg) establecido en este proyecto. La celda de carga GML611 es conocida por su precisión y robustez, lo que la hace ideal para este tipo de aplicación en sistemas de pesaje industriales [61].

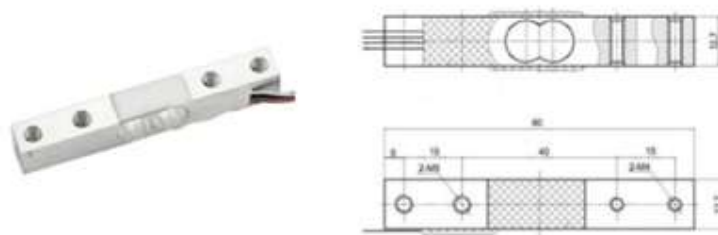


Figura 28. Celda de carga GML611 [61]

A continuación se visualiza las características principales de la celda de carga GML611 en la tabla II.

Tabla II
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CELDA DE CARGA GML611 [61]

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Rango | 1-50 kg |
| Límite de sobrecarga | 150 %F.S |
| Sensibilidad | 1.0mV/V±0.15mV/V |
| Voltaje de excitación | 5VDC |
| Impedancia de salida | 1000±10Ω |
| Impedancia de entrada | 1000±50Ω |
| Cables | 4 cables de color PVC |
| Rango de temperatura en operación | -10°C~+40°C |

b) Celda de carga CB067 5K: El sensor de pesaje CB-067 5K es un dispositivo que permite medir la masa de un objeto mediante la detección de la fuerza que ejerce sobre el sensor. En la figura 29 se muestra

un ejemplo de celda de carga CB067 5K. Este tipo de sensores es comúnmente utilizado en básculas y sistemas de pesaje industrial [62].



Figura 29. Celda de carga CB067 5K [29]

A continuación se visualiza las características principales de la celda de carga CB067 5K en la tabla III.

Tabla III
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CELDA DE CARGA CB-067 5K [62]

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| Rango | 5 kg |
| Límite de sobrecarga | 200 %RC |
| Sensibilidad | 2mV/V±0.2mV/V |
| No linealidad | 0.015 %RO |
| Recuperación lenta | 0.02 %RO/20min |
| Voltaje de excitación recomendado | Por debajo de 12 V |
| Voltaje de excitación | 20 V |
| Salida cero | ±0.1 mV / V |
| Impedancia de salida | 420Ω(+30,-20)Ω |
| Temperatura de funcionamiento | -10°C~+50°C |

Módulos de amplificación:

1. **Módulo de amplificación y ADC HX711:** Para convertir la señal analógica generada por el sensor de pesaje en una señal digital utilizable, se requiere un módulo de amplificación y conversión analógico-digital (ADC). En este caso, se ha seleccionado el módulo HX711 debido a su economía y su amplia utilización en proyectos similares. En la figura 30 se muestra un módulo de amplificación ADC HX711. El HX711 es un módulo de alta precisión diseñado específicamente para aplicaciones de pesaje, proporcionando una interfaz eficiente entre la célula de carga y el sistema digital. Generalmente admite una o dos celdas de carga, lo que proporciona flexibilidad en la configuración del sistema de pesaje [63].



Figura 30. Módulo de amplificación ADC HX711 [64]

A continuación se visualiza las características principales del módulo de amplificación ADC HX711 en la tabla IV.

Tabla IV
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MÓDULO DE AMPLIFICACIÓN ADC HX711 [63]

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Voltaje de operación | 2.7V-5V DC |
| Consumo de corriente | Menor a 10mA |
| Resolución conversión A/D | 24 bit |
| Frecuencia de lectura | 80Hz |
| Dimensiones | 38*21*10 mm |
| Peso | 3g |
| Cables | 4 cables de color PVC |

2. **Módulo de pesaje DVP02LC:** El DVP02LC es un módulo de pesaje de la gama DVP de Delta Electronics, creado para proporcionar soluciones de pesaje precisas en sistemas de automatización. En la figura 31 se muestra un módulo de pesaje DVP02LC. Este módulo se utiliza para medir y controlar procesos basados en peso y se integra con controladores lógicos programables (PLC) para una gestión eficiente de los procesos [65].



Figura 31. Módulo de pesaje DVP02LC [66]

A continuación se visualiza las características principales del módulo de pesaje DVP02LC en la tabla V.

Tabla V
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MÓDULO DE PESAJE DVP02LC [65]

| | |
|--|--------------------------|
| Voltaje de suministro nominal/consumo de energía | 24VDC (-15 to + 20 %)/5W |
| Voltaje mínimo/máximo estático | 20.4V/28.8 VDC |
| Voltaje mínimo/máxima dinámica | 18.5V/30.2VDC |
| Consumo máximo de corriente | 150mA |
| Rango de señal de entrada | ±200mVDC |
| Sensibilidad | (+5VDC+/-5 %) |
| Resolución ADC | 24 bits |
| Alta precisión | 0.04 % |
| Interfaz de comunicación | RS-232, RS-485 |
| Tipo de sensor aplicable | Celdas de carga |
| Expandiendo un coeficiente de temperatura | ≤±20 ppm/Kv.E |

Conexiones e integraciones

1. **Conexión de la celda de carga y el módulo HX711:** La celda de carga GML611 tiene cuatro cables: E+, E-, S+, y S-. Estos cables deben conectarse al módulo HX711 siguiendo el esquema proporcionado en su documentación técnica.

- E+ de la celda de carga se conecta a E+ del HX711.
- E- de la celda de carga se conecta a E- del HX711.

- S+ de la celda de carga se conecta a A+ del HX7111.
- S- de la celda de carga se conecta a A- del HX711.

2. **Conexión del HX711 al PLC** El HX711 tiene dos señales principales que deben conectarse al PLC:

- DT (Data): Señal de datos que transmite las lecturas de peso.
- SCK (Clock): Señal de reloj que sincroniza la transmisión de datos.

El PLC debe tener entradas digitales capaces de leer señales binarias.

3. **Interfaz de Comunicación:** Si el PLC no dispone de un módulo específico para comunicación con sensores analógicos o de pesaje, se puede utilizar un convertidor de señal o un módulo de entrada digital compatible con la frecuencia del HX711.

4. **Señales de Conexión:**

- DT: Conecta la salida de datos del HX711 a una entrada digital del PLC.
- SCK: Conecta la señal de reloj del HX711 a otra entrada digital del PLC.
- VCC: Conecta el pin de alimentación del HX711 (generalmente 5V) a la fuente de alimentación del PLC o a una fuente de alimentación externa compatible.

VI. MARCO METODOLÓGICO

Para comprender el funcionamiento de la máquina trituradora de vidrio se propone a continuación el siguiente diagrama de flujo ilustrado en la figura 32.

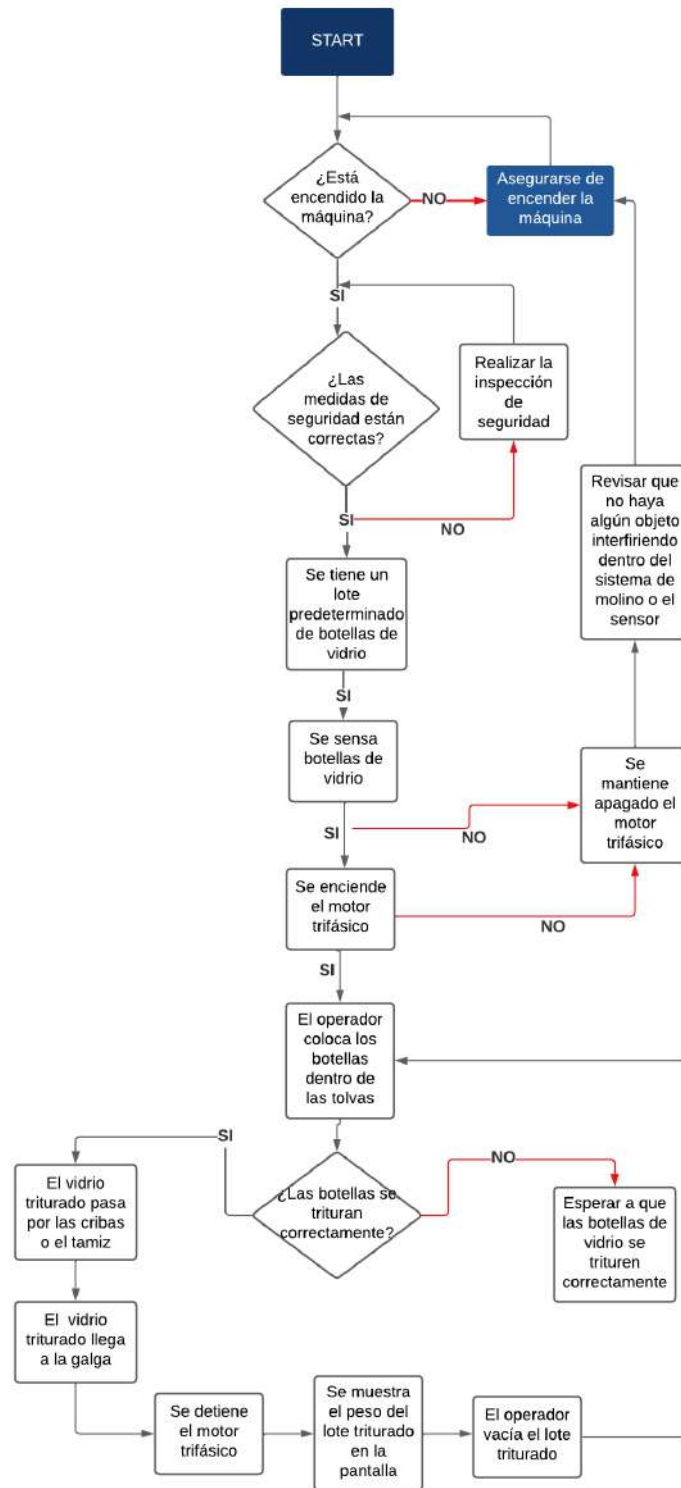


Figura 32. Diagrama de flujo. Fuente: Los autores.

La presente investigación comprende un objetivo del estudio donde se realiza la construcción e implementación

de una máquina recicladora automatizada que tritura, pesa y visualiza en tiempo real la simulación del HMI donde se obtendrá los vidrios triturados para facilitar de una manera eficiente su traslado al horno para su respectivo proceso de fabricación y fundición de vidrio en otros términos su ciclo de reciclaje. Este es un trabajo formal que se encuentra limitado a las pruebas dentro laboratorio. Es importante que la trituradora de martillos sea eficiente y duradera para pulverizar el vidrio en los trozos deseados, contribuyendo así a la gestión sostenible de residuos y al proceso de reciclaje. La estructura debe ser robusta y resistentes para que soporte el impacto constante de los martillos y garantice la seguridad durante el proceso de trituración. A continuación se visualiza las características técnicas de la máquina trituradora de vidrio en la tabla VI.

Tabla VI
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TRITURADORA DE VIDRIO. FUENTE: LOS AUTORES.

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Potencia | 0.75HP - 1HP |
| Giro | 1400 a 1700rpm |
| Cantidad de ejes | 1 |
| Martillos giratorios | 10 a 16 |
| Martillos fijos (yunques) | 10 |
| Entrada | 486x200mm |
| Alto | 1180mm |
| Ancho | 450mm |
| Profundidad | 780mm |
| Cámara de molienda A x Bmm | 150(6'')x250 |
| Tolva de carga c | 350mm |
| Producción | 12 botellas en 5 min |
| Triturado | Variable |
| Peso del equipo aproximado | 190kg a 250kg |
| Material | SAE 1035/1045 |
| Terminación | Pintado epoxi |

Etapas de Trituración

El proceso de desintegración o trituración se realiza en diferentes fases con el uso de diversos equipos. la primera trituración ocurre cuando el material proveniente de diferentes fuentes es introducido por primera vez en la maquina.Si es necesario disminuir aun mas el tamaño de los fragmentos obtenidos , el material avanza a una segunda etapa de desintegración , repitiendo este proceso hasta obtener las dimensiones deseadas.[67].

El material triturado que ha pasado por varias etapas puede catalogarse en los siguientes tamaños:

- **Fragmentos de tamaño grueso:** dimensión de fragmentos resultantes de 15 cm (6").
- **fragmentos de tamaño mediano:** dimensión de fragmentos resultantes en el rango de 3 y 15 cm (1.25 a 6").
- **fragmentos de tamaño fina:** dimensión de fragmentos resultantes en el rango de 0.5 y 3 cm (0.2 a 1.25").
- **Molimiento de tamaño Grueso:** dimensión de fragmentos en el rango de 0.1 mm y 0.3 mm.
- **Molimiento de tamaño Fina:** dimensión de fragmentos menor a 0.1 mm.

La trituración gruesa, media y fina corresponde en gran medida al primer, segundo y tercer tipo de etapa de trituración, respectivamente. Del mismo modo, la molienda gruesa y fina es el proceso de molienda en etapas primaria y secundaria. Las dimensiones de las partículas se basan en los diámetros respectivos. se observa en la figura 33 diferentes muestras de vidrio triturado.



Figura 33. Muestras de vidrio triturado [68]

Acorde a nuestra matriz de objetivo, realizaremos una trituración fina que es entre 0.5 a 3 cm.

Para comprender mejor su funcionamiento se dividirá en 3 secciones la máquina automatizada:

VI-A. Construcción del soporte - cuadrípode de la máquina trituradora de vidrio

Para ello se planteará un tipo de diseño básico: Donde se proporciona un diseño tipo cuadrípode que funcionará directamente proporcional al suelo, es decir sirven como sujeción de la máquina trituradora y pesadora de vidrio (es una mesa soporte). A su vez el soporte se sujeta mediante unos ángulos de acero inoxidable agarradas por pernos a la mesa. Donde el diseño se realiza un análisis ya sea en su correa, polea, cadena, soporte de vías, fuerzas externas o esfuerzos sobre la mesa (simulación) [69]. Donde se utilizará materiales para su forma cuadrípode (4 patas) como se observa en la figura 34 donde se conlleva el acero estructural de alta resistencia, unos ejemplos claros de estas estructuras son:

1. El acero S355.
2. El acero ASTM A572 Grado 50.



Figura 34. Soporte cuadrípode [7]

VI-B. Construcción interna de la máquina trituradora de vidrio

La construcción interna se diseccionará en varios pasos para mejor entendimiento:

1. Preparación del eje principal

En la realización del eje principal se utilizará varas de acero AISI 1018 un ejemplo claro es la figura 35 el

cual es el adecuado para soportar el impacto y carga del trabajo [70]. Una vez seleccionado el tipo de acero se le desgastará las puntas del eje para su conexión con las chumaceras y la instalación de los martillos.



Figura 35. Varas de acero AISI 1018 [4]

2. Fabricación de los martillos

Se corta las soleras metálicas en las medidas deseadas para crear los martillos. Es importante darle la forma y el filo necesario como en la figura 36 para que exista una trituración eficiente del vidrio [71].



Figura 36. Soleras de acero [11]

Luego soldamos los martillos al eje de manera que pueda girar libremente y golpear el vidrio con la fuerza adecuada. También se puede realizar unos orificios (opcional) dicho ejemplo de visualiza en la figura 37 en la parte superior, esto sirve como un estabilizador.



Figura 37. Soleras con agujero ajustada al eje [11]

3. Instalación de los componentes

Se coloca las chumaceras en los extremos del eje principal y aseguramos su correcta alineación para minimizar la fricción y el desgaste. Se inserta la lamina cernidora o llamada “tamiz” en el interior de la estructura, debajo del eje con los martillos, para separar el material triturado del material no deseado. Mediante poleas y bandas en V tipo A transmitiremos la potencia del motor de 0.75 a 1 HP hacia el eje principal de los martillos. Las características técnicas del motor se visualiza en la tabla VII.

Tabla VII
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR. FUENTE: LOS AUTORES.

| Características | del motor |
|-----------------|----------------|
| Potencia | 0.75HP - 1HP |
| Velocidad | 1400 a 1700Rpm |
| Frecuencia | 50 Hz - 60 Hz |
| Voltaje | 115V / 230V |
| Consumo | 2.65A / 1.53A |

Es importante tener un previo estudio de las respectivas conexiones del variador de frecuencia junto al motor trifásico y al PLC master, donde se visualizará el estado de estos componentes en el HMI. Tal conexión se observa en la figura 38.

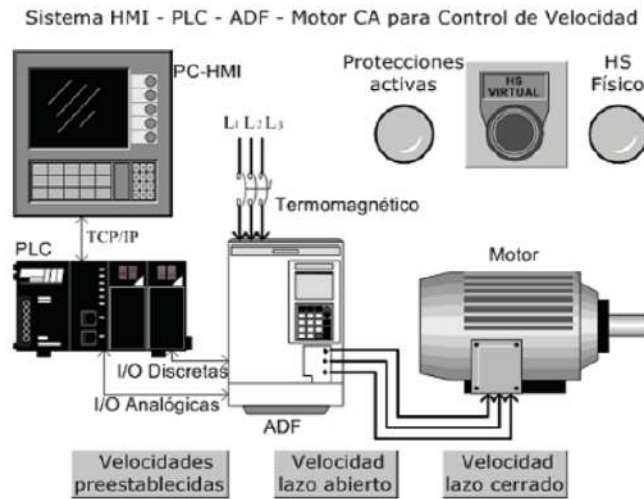


Figura 38. Conexiones HMI - variador de frecuencia - PLC -motor trifásico [11]

Por lo tanto en el HMI se observará el giro del motor trifásico que se haya empleado su velocidad en rpm, el botón de paro de emergencia, protecciones, dirección de giro, entre otros aspectos que se desee agregar en la máquina trituradora de vidrio, como se muestra en la figura 39.

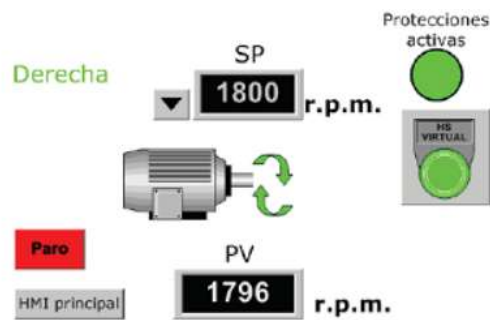


Figura 39. Simulación del motor trifásico en HMI [11]

Se constará de un sistema molino tipo martillo con cuchillas donde una vez que las botellas de vidrio sean colocadas por medio de la tolvas, estas llegan al sistema de molino tipo martillo y serán trituradas cayendo a su recipiente base donde caerán sobre el tamiz o criba de acero donde solo pasará el tamaño deseado no mayor de 6.5 mm a 9 mm. Se tiene un breve bosquejo de la máquina trituradora de vidrio a continuación en la figura 40.

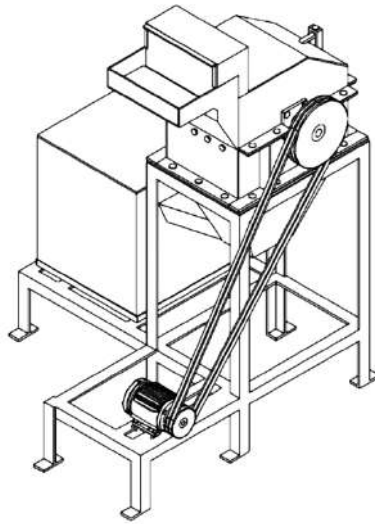


Figura 40. Bosquejo de la máquina trituradora de vidrio [7]

Dicho sistema molino tipo martillo será manipulado en base a un controlador PLC donde se observa parte de sus componentes en la figura 41 para el diseño de la máquina, será controlado por medio de un motor trifásico acoplado mediante un mecanismo de transmisión por correa trapezoidal en V tipo A. Esta es la parte fundamental de la máquina ya que realiza la operación más crítica para el funcionamiento de la misma [72].



Figura 41. Componentes de un PLC [21]

El sistema de control se basa en lenguaje de programación "ladder". Este sistema de automatización propuesto incluye el control de velocidad mediante la sustitución del método convencional por un variador de frecuencia (VFD), motor trifásico, control de alimentación y empujador mediante PLC, detección de fallas y medidas de seguridad, y control secuencial basado en PLC de todos los procesos realizados en la máquina trituradora

de vidrio [73]. Se necesita realizar varias pruebas de laboratorio para conocer las distintas conexiones que se le puede agregar al motor trifásico pueden ser delta o estrella, un ejemplo de laboratorio se visualiza a continuación en la figura 42.



Figura 42. Control variador de frecuencia - PLC- motor trifásico [10]

VI-C. Construcción externa de la máquina trituradora de vidrio

Se realizará la construcción estructural de la máquina recicladora de vidrio; es decir la parte externa la máquina donde se utilizará láminas galvanizadas calibre 20 aproximadamente 2.5 mts, se empleará corte de plasma o la ayuda de un cnc y de la mano las diferentes aplicaciones de soldadura [74]. Dando como resultado una construcción de una buena estructura como se observa en el ejemplo de la figura 43.

1. Construcción de estructura



Figura 43. Construcción de la carcasa [6]

Lo primero que se debe realizar es cortar las láminas Galvanizadas en las medidas específicas en base al diseño establecido. En segundo lugar ensamblamos la trituradora en una estructura cuadrática robusta, con una abertura en la parte inferior para la salida de los residuos de vidrio triturado. Finalmente se realiza cortes y perforaciones en la estructura para la instalación de los componentes, como eje principal, las chumaceras y el motor. A continuación en la figura 44 se observa el modelo a construir de la máquina trituradora de vidrio.

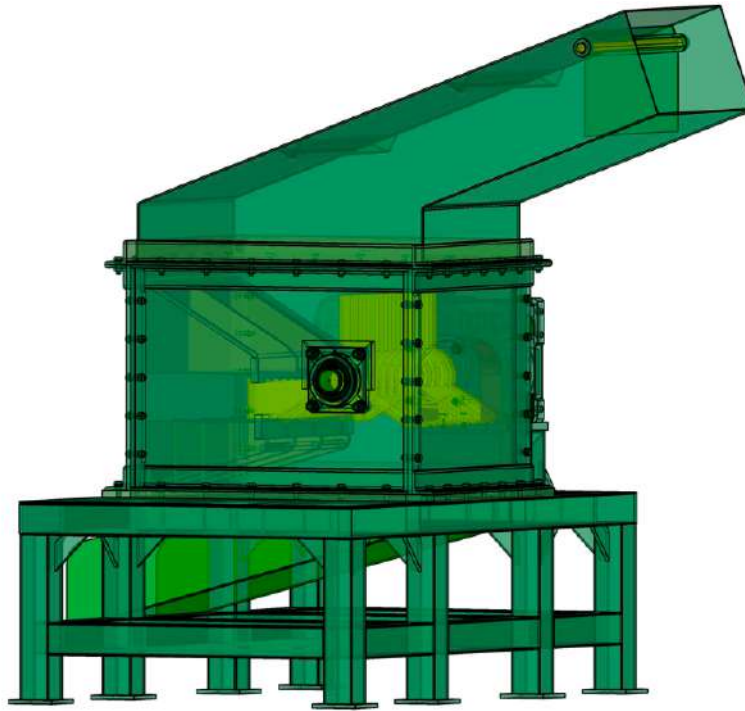


Figura 44. Modelo máquina trituradora de vidrio [8]

2. Optimización y acabado

Se aplica recubrimientos protectores o pinturas a la estructura de la máquina trituradora de vidrio para proteger su vida útil y a su vez contra la corrosión. Se debe tener en cuenta la implementación de medidas de seguridad adicionales, como uniforme que cubra al operador, cubiertas de protección o antisalpicaduras, guantes, gafas y sistema de parada de emergencia [75]. A continuación se muestra la tabla VIII de los costos de botellas de vidrio trituradas.

Tabla VIII
COSTO POR BOTELLAS DE VIDRIO VS COSTO POR BOTELLAS DE VIDRIO TRITURADAS [7]

| Vidrio | Diferentes precios(%) | Redondeo(s) | Porcentaje(%) |
|----------------|-----------------------|-------------|---------------|
| Botellas (kg) | \$0.02 a \$0.04 | \$0.03 | 7.5 % |
| Triturado (kg) | \$0.02 a \$0.04 | \$0.40 | 100 % |

VI-D. Sistema de transmisión por cadena y engranajes

Datos de entrada y salida

A continuación se presentan los datos relevantes para el cálculo:

1. Cálculo del torque

Lo que se realizará primero es el torque en la salida del reductor y después del sistema de transmisión se puede calcular usando las siguientes ecuaciones.

Primero, calculamos el torque en la salida del reductor. Sabemos que la potencia del motor es de 0,75 HP y la velocidad es de 1400 RPM. El reductor tiene una relación de 1 : 28, y la velocidad de salida del reductor es 50 RPM.

Datos:

- Potencia del motor, $P_m = 0,75$ HP.
- Velocidad del motor, $N_m = 1400$ RPM.
- Relación del reductor = 1 : 28.
- Velocidad de salida del reductor, $N_r = 50$ RPM.

Se convierte la potencia de HP a vatios.

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W} \quad (1)$$

La potencia en vatios es:

$$P_m = 0,75 \text{ HP} \times 745,7 \text{ W/HP} \quad (2)$$

Calculando P_m :

$$P_m = 559,275 \text{ W} \quad (3)$$

El torque del motor (τ_m):

$$\tau_m = \frac{P_m}{2\pi \frac{N_m}{60}} \quad (4)$$

$$\tau_m = \frac{559,275}{2\pi \frac{1400}{60}} \quad (5)$$

Calculando τ_m :

$$\tau_m \approx 3,81 \text{ Nm} \quad (6)$$

El torque en la salida del reductor (τ_r) se multiplica por la relación de reducción:

$$\tau_r = \tau_m \times 28 \quad (7)$$

$$\tau_r = 3,81 \text{ Nm} \times 28 \quad (8)$$

Calculando τ_r :

$$\tau_r \approx 106,68 \text{ Nm} \quad (9)$$

Luego, consideramos el sistema de transmisión de cadenas y engranajes que aumenta la velocidad de 50 RPM a 150 RPM. La relación de transmisión es:

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{150}{50} = 3 \quad (10)$$

El torque en la salida del sistema de transmisión (τ_t) se reduce por la relación de transmisión:

$$\tau_t = \frac{\tau_r}{\text{Relación de transmisión}} \quad (11)$$

$$\tau_t = \frac{106,68}{3} \quad (12)$$

Calculando τ_t :

$$\tau_t \approx 35,56 \text{ Nm} \quad (13)$$

El torque después del reductor es aproximadamente 106,68 Nm, y el torque después del sistema de transmisión es aproximadamente 35,56 Nm.

Por lo cual obtendríamos los siguientes datos:

- Velocidad del motor, $N_m = 1400 \text{ RPM}$.
- Velocidad de salida del reductor, $N_r = 50 \text{ RPM}$.
- Velocidad del engranaje motriz, $N_1 = 50 \text{ RPM}$.
- Velocidad del engranaje conducido, $N_2 = 150 \text{ RPM}$.
- Torque, $T = 35,60 \text{ N}\cdot\text{m}$ [76].

Estos datos son esenciales para el análisis, cálculo de los engranajes y el rendimiento del sistema.

2. Cálculo de cadena y engranajes

a) Calculo de potencia de accionamiento del motor en función a la máquina trituradora.

La potencia de accionamiento del motor se puede calcular con la siguiente ecuación 14.

$$P = \frac{T \times 2\pi \times N}{60} \quad (14)$$

Donde:

- P : es la potencia en vatios.
- T : es el torque en Newton-metros.
- N : es la velocidad en RPM (revoluciones por minuto).

Datos:

- Torque, $T = 35,60 \text{ N}\cdot\text{m}$.
- Velocidad, $N = 150 \text{ RPM}$.

Reemplazamos los valores en la ecuación de potencia de accionamiento:

$$P = \frac{35,60 \times 2\pi \times 150}{60} \quad (15)$$

La potencia es P :

$$P = 559,2034 \text{ W} \quad (16)$$

La potencia de vatios a caballos de fuerza (HP):

$$\text{Potencia en HP} = \frac{559,2034 \text{ W}}{745,7 \text{ W/HP}} \quad (17)$$

$$\text{Potencia en HP} = 0,749 \text{ HP} \quad (18)$$

La potencia de accionamiento del motor es 0,749 HP.

b) Hallamos la relación de velocidades.

La relación de velocidades se puede calcular con la siguiente ecuación 19.

$$RT = \frac{N_2}{N_1} \quad (19)$$

Donde:

- RT : es la relación de velocidades.
- N_2 : es la velocidad del engranaje conducido.
- N_1 : es la velocidad del engranaje motriz.

Datos:

- Velocidad de la engranaje motriz, $N_1 = 50$ RPM.
- Velocidad de la engranaje conducido, $N_2 = 150$ RPM.

$$RT = \frac{150}{50} \quad (20)$$

El valor de relación de RT es:

$$RT = 3 \quad (21)$$

La relación de velocidades entre el engranaje conducido y el engranaje motriz es 3.

- c) Se determina el factor de servicio En base a nuestras especificaciones en la siguiente la figura 45 se podrá determinar el factor ideal que será usado en este caso es el valor de 1.3 [77].

| Máquina accionada | | Máquina motriz | | | | | |
|------------------------------|---|--|---------|-----|---|---------|-----|
| Clase | Ejemplos | Motores eléctricos (C.A. de arranque suave, C.D. con arrancador estrella delta, C.D. Shunt), motores de combustión interna con más de 4 cilindros, máquinas con acoples flexibles. | | | Motores eléctricos (C.A. de arranque directo, C.D. serie y compuesto), máquinas de combustión interna con menos de 4 cilindros. | | |
| | | Horas de trabajo diarias | | | Horas de trabajo diarias | | |
| | | <10 | 10 a 16 | >16 | <10 | 10 a 16 | >16 |
| 1 (servicio ligero) | Agitador (densidad uniforme). Ventilador y soplador (<7.5kW). Compresor y bomba centrífuga. Banda transportadora (carga uniforme). | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| 2 (servicio medio) | Agitador (densidad variable). Ventilador y soplador (>7.5kW). Compresor y bomba rotatoria. Banda transportadora (carga no uniforme), Generador, Lavadora, Eje de transmisión. Máquina herramienta, Imprenta, Máquina para madera. | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 3 (servicio pesado) | Máquina para fabricar ladrillo. Elevador, Compresor y Bomba reciprocante. Transportadora (carga pesada), Montacargas, Molino de percusión, Pulverizadora, Prensa, Cizalla, Maquinaria para caucho, Vibrador, Maquinaria textil Troqueladora, Laminadora | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| 4 (servicio extra pesado) | Trituradora circular, de mordazas, de rodillos Molino triturador de bolas y de barras | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |

Figura 45. Factor de servicio [77]

d) Potencia de diseño.

La potencia de diseño se puede calcular con la siguiente ecuación 22.

$$P_d = P \times F_s \quad (22)$$

Donde:

- P_d : es la potencia de diseño.
- P : es la potencia del motor en vatios.

- F_s : es el factor de servicio escogido de la tabla [77].

Datos:

- Potencia del motor, $P = 0,75\text{HP}$.
- Factor de servicio, $F_s = 1,3$.

Se convierte la potencia del motor de HP a vatios:

$$1\text{HP} = 745,7\text{W} \quad (23)$$

La potencia en vatios es:

$$P = 0,75\text{HP} \times 745,7\text{W/HP} \quad (24)$$

Calculando P :

$$P = 559,275\text{W} \quad (25)$$

Los valores en la ecuación de potencia de diseño:

$$P_d = 559,275 \times 1,3 \quad (26)$$

El valor de P_d :

$$P_d = 727,0575\text{W} \quad (27)$$

Finalmente, convertimos la potencia de diseño a caballos de fuerza:

$$P_d (\text{HP}) = \frac{727,0575 \text{ W}}{745,7} \quad (28)$$

Calculando P_d en HP:

$$P_d (\text{HP}) = 0,975 \text{ HP} \quad (29)$$

La potencia de diseño es 0,975 HP.

e) Selección de cadena.

Seleccionamos la cadena en base a la tabla del Anexo #A, la cual será una ANSI #50 (5/8 plg) con un engranaje inferior de 17 dientes, donde en base al motor que estamos seleccionado es de 0.75 HP y el número de potencia en la cadena es de 0.72 HP, aunque la potencia de diseño sea de 0.97 HP. El tipo de lubricación será A, que es lubricación manual [78].

f) Diámetro de paso del engranaje menor.

El diámetro de paso del engranaje menor se puede calcular con la siguiente ecuación 30.

$$D_1 = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)} \quad (30)$$

Donde:

- P : Es el paso de la cadena en base al tipo de cadena, dado como 0,625 pulgadas.
- n : Es el número de dientes del engranaje, dado como 17.

Sustituyendo los valores dados en la ecuación:

$$D_1 = \frac{0,625}{\sin\left(\frac{180^\circ}{17}\right)} \quad (31)$$

Resolviendo la función seno:

$$D_1 \approx \frac{0,625}{0,1837} \quad (32)$$

Calculando el valor de D_1 :

$$D_1 \approx 3,402 \text{ plg} \quad (33)$$

Finalmente, obtenemos:

$$D_1 \approx 3,40 \text{ plg} \quad (34)$$

El diámetro de paso del engranaje menor es aproximadamente 3,40 pulgadas.

g) Cálculo del engranaje mayor.

El cálculo del engranaje mayor se muestra en la siguiente ecuación 35.

$$N_2 = RT \times N_1 \quad (35)$$

Donde:

- RT : Es la relación de transmisión.
- N_1 : Es el número de dientes del engranaje menor, dado como 17.

Sustituyendo los valores dados en la ecuación:

$$N_2 = 3 \times 17 \quad (36)$$

Resolviendo el producto:

$$N_2 = 51 \quad (37)$$

El número de dientes del engranaje mayor es 51 dientes.

h) Diámetro de paso del engranaje mayor.

El diámetro de paso del engranaje mayor se puede calcular con la siguiente ecuación 38.

$$D_2 = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)} \quad (38)$$

Donde:

- D_2 : Es el diámetro de paso del engranaje mayor.
- P : Es el paso de la cadena, dado como 0,625 plg.
- n : Es el número de dientes del engranaje mayor, dado como 51 dientes.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$D_2 = \frac{0,625}{\sin\left(\frac{180^\circ}{51}\right)} \quad (39)$$

Calculando el valor de D_2 :

$$D_2 \approx 10,15 \text{ plg} \quad (40)$$

El diámetro de paso del engranaje mayor es aproximadamente 10,15 plg.

i) Diámetro exterior del engranaje menor.

El diámetro exterior del engranaje menor se puede calcular con la siguiente ecuación 41.

$$M = \frac{DP}{N} \quad (41)$$

Donde:

- M : Es el módulo del engranaje.
- DP : Es el diámetro de paso, dado como 3,40 plg.
- N : Es el número de dientes del engranaje, dado como 17 dientes.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$M = \frac{3,40}{17} \quad (42)$$

Calculando el valor de M :

$$M \approx 0,2 \text{ plg} \quad (43)$$

Con el módulo obtenido, procedemos a calcular el diámetro exterior con la siguiente fórmula 44.

$$DE = M \times N + 2 \quad (44)$$

Donde:

- DE : Es el diámetro exterior.
- M : Es el módulo del engranaje.
- N : Es el número de dientes del engranaje.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$DE = 0,2 \times 17 + 2 \quad (45)$$

Calculando el valor de DE :

$$DE \approx 3,8 \text{ plg} \quad (46)$$

El diámetro exterior del engranaje menor es aproximadamente 3,8 plg.

j) Diámetro exterior del engranaje mayor.

El diámetro exterior del engranaje mayor se puede calcular con la siguiente ecuación 47.

$$M = \frac{DP}{N} \quad (47)$$

Donde:

- M : Es el módulo del engranaje mayor.
- DP : Es el diámetro de paso, dado como 10,15 plg.
- N : Es el número de dientes del engranaje mayor, dado como 51 dientes.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$M = \frac{10,15}{51} \quad (48)$$

Calculando el valor de M :

$$M \approx 0,199 \text{ plg} \quad (49)$$

Con el módulo obtenido, procedemos a calcular el diámetro exterior con la siguiente fórmula 50.

$$DE = M \times (N + 2) \quad (50)$$

Donde:

- DE : Es el diámetro exterior del engranaje mayor.
- M : Es el módulo del engranaje mayor.
- N : Es el número de dientes del engranaje mayor.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$DE = 0,199 \times (51 + 2) \quad (51)$$

Calculando el valor de DE :

$$DE \approx 10,547 \text{ plg} \quad (52)$$

El diámetro exterior del engranaje mayor es aproximadamente 10,547 plg.

k) Longitud de cadena.

La longitud de cadena se puede calcular con la siguiente ecuación 53.

$$LP = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad (53)$$

Donde:

- LP : es la longitud de la cadena en pasos.
- C : es el número recomendado de pasos.
- N_1 : es el número de dientes del engranaje menor.
- N_2 : es el número de dientes del engranaje mayor.

Datos:

- Número recomendado de pasos, $C = 30$.
- Número de dientes del engranaje menor, $N_1 = 17$.
- Número de dientes del engranaje mayor, $N_2 = 51$.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$LP = 2 \times 30 + \frac{51 + 17}{2} + \frac{(51 - 17)^2}{4\pi^2 \times 30} \quad (54)$$

Calculando el valor de LP :

$$LP \approx 94,97 \text{ Pasos} \quad (55)$$

Redondeamos nuestra longitud de cadena (LP) a la más cercana:

$$LP = 95 \text{ Pasos} \quad (56)$$

Finalmente, si deseamos expresar la longitud de cadena en pulgadas:

$$LP = 95 \text{ Pasos} = 59,37 \text{ In} \quad (57)$$

La longitud de cadena es 95 pasos es decir 59,37 pulgadas o 60 pulgadas.

l) Distancia entre centros aproximada.

La distancia entre centros aproximada se puede calcular con la siguiente ecuación 58.

$$C = 0,25 \left[LP - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left(LP - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{2(N_2 - N_1)^2}{\pi^2}} \right] \quad (58)$$

Donde:

- C : es la distancia entre centros en pulgadas.
- LP : es la longitud de cadena en pasos.
- N_1 : es el número de dientes del engranaje menor.
- N_2 : es el número de dientes del engranaje mayor.

Datos:

- Longitud de cadena en pasos, $LP = 95$.
- Número de dientes del engranaje menor, $N_1 = 17$.

- Número de dientes del engranaje mayor, $N_2 = 51$.

Reemplazamos la ecuación con nuestros datos y obtenemos:

$$C = 0,25 \left[95 - \frac{51 + 17}{2} + \sqrt{\left(95 - \frac{51 + 17}{2}\right)^2 - \frac{2(51 - 17)^2}{\pi^2}} \right] \quad (59)$$

Calculando el valor de C :

$$C = 30,01 \times 0,625 \approx 18,75625 \text{ plg} \quad (60)$$

La distancia entre centros es 18,75 pulgadas.

m) Cálculo del arco de contacto del engranaje menor.

El arco de contacto del engranaje menor se puede calcular con la siguiente ecuación 61.

$$\phi_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2C_r} \right) \quad (61)$$

Donde:

- ϕ_1 : es el arco de contacto del engranaje menor en grados.
- D_1 : es el diámetro del engranaje menor.
- D_2 : es el diámetro del engranaje mayor.
- C_r : es la distancia entre centros aproximada.

Datos:

- Diámetro del engranaje menor, $D_1 = 3,40$ in.
- Diámetro del engranaje mayor, $D_2 = 10,15$ in.
- Distancia entre centros aproximada, $C_r = 18,75$ in.

Reemplazamos la ecuación con nuestros datos y obtenemos:

$$\phi_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left(\frac{10,15 - 3,40}{2 \times 18,75} \right) \quad (62)$$

Calculando el valor de ϕ_1 :

$$\phi_1 \approx 159,26^\circ \quad (63)$$

El arco de contacto del engranaje menor es 159,26°.

n) Cálculo del arco de contacto del engranaje mayor.

El arco de contacto del engranaje mayor se puede calcular con la siguiente ecuación 64.

$$\phi_2 = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2C_r} \right) \quad (64)$$

Donde:

- ϕ_2 : es el arco de contacto del engranaje mayor en grados.
- D_1 : es el diámetro del engranaje menor.
- D_2 : es el diámetro del engranaje mayor.
- C_r : es la distancia entre centros aproximada.

Datos:

- Diámetro del engranaje menor, $D_1 = 3,40$ in.
- Diámetro del engranaje mayor, $D_2 = 10,15$ in.
- Distancia entre centros aproximada, $C_r = 18,75$ in.

Reemplazamos y obtenemos:

$$\phi_2 = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \left(\frac{10,15 - 3,40}{2 \times 18,75} \right) \quad (65)$$

Calculando el valor de ϕ_2 :

$$\phi_2 \approx 200,73^\circ \quad (66)$$

El arco de contacto del engranaje mayor es $200,73^\circ$.

ñ) Cálculo del número de hileras por resistencia a la fatiga para una vida de 15,000 horas [79].

El número de hileras por resistencia a la fatiga se puede calcular con la siguiente ecuación 67. El KL será: 0.004 para todas las cadenas menos la N° 41 y 0.00242 para la N° 41.

$$HP_L = K_L N_1 n^{(0,96)} p^{3,0-0,07p} \quad (67)$$

$$HP_L = (0,004)(17)(50)^{0,96} \times 0,625^{3,0-0,07(0,625)} \quad (68)$$

Calculando el valor de HP_L :

$$HP_L = 0,7245 \text{ HP} \quad (69)$$

El número de hileras por resistencia a la fatiga es 0,7245 HP.

o) Cálculo del número de hileras por impacto de rodillos y bujes para 15,000 horas.

El número de hileras por impacto de rodillos y bujes se puede calcular con la siguiente ecuación 70. El KR será: 17,000 para cadenas estándar y pesadas excepto la N° 25 ,N° 35 y N° 41 , 29,000 para cadena N° 25 y N° 35 y 3,400 para N° 41.

$$H_{PR} = \frac{K_R N_1^{1,5} p^{0,8}}{n^{1,5}} \times K_{length} \quad (70)$$

Calculando el valor de H_{Pr} :

$$H_{P_r} = \frac{17000 \times 17^{1,5} \times 0,625^{0,8}}{50^{1,5}} \times K_{length} \quad (71)$$

$$H_{P_r} = \frac{17000 \times 17^{1,5} \times 0,625^{0,8}}{50^{1,5}} \times \left(\frac{95}{100}\right)^{0,4} \quad (72)$$

$$H_{P_r} = 2267,04 \text{ HP} \quad (73)$$

El número de hileras por impacto de rodillos y bujes es 2267,04 HP.

p) Cantidad de hileras (Tentativa).

La cantidad de hileras se puede calcular con la siguiente ecuación 74.

$$\text{Cantidad de hileras} = \frac{P_d}{H_{P_L}} \quad (74)$$

Donde:

- P_d : es la potencia de diseño.
- H_{P_L} : es el cálculo del número de hileras por resistencia a la fatiga.

Datos:

- Potencia de diseño, $P_d = 0,954 \text{ HP}$.
- Número de hileras por fatiga, $H_{P_L} = 0,7245 \text{ HP}$.

Reemplazando valores en la ecuación:

$$\text{Cantidad de hileras} = \frac{0,954 \text{ HP}}{0,7245 \text{ HP}} \quad (75)$$

Calculando el valor:

$$\text{Cantidad de hileras} \approx 1,31 \approx 1 \text{ hilera} \quad (76)$$

La cantidad de hileras es aproximadamente 1.

VI-E. Diseño de estructuras de la mesa soporte - cuadrípode

La estructura será la parte que soportará todo el peso del sistema como la caja trituradora, el motor y otros componentes que conforman el sistema.

1. Cálculo de estructura por columna y vigas

Análisis columna

El material empleado para la base será Hierro negro con una medida de estructura de 40 mm con 3 mm de espesor como se muestra en la figura. (colocar abajo diseño de SolidWorks de la mesa de soporte).

Para los cálculos se utilizará el peso máximo que conforma toda la tolva con sus componentes internos más el motor, cuyo peso será 150 kg, transformado a libras será 330.693 libras = 0.330693 Klb. Con estos datos se procederá a hacer los cálculos con las siguientes ecuaciones:

a) Esfuerzo de Compresión.

El esfuerzo de compresión se puede calcular con la siguiente ecuación 77.

$$Fa = \frac{P}{A} \quad (77)$$

Donde:

- Fa : es el esfuerzo de compresión.
- P : es la carga del sistema.
- A : es el área (Anexo #B) [80] = $4.21 \text{ cm}^2 = 0.65 \text{ plg}^2$.

Datos:

- Carga del sistema, $P = 0,330693 \text{ Klb}$.
- Área, $A = 0,652 \text{ plg}^2$.

$$fa = \frac{0,330693 \text{ Klb}}{0,65 \text{ plg}^2} = 0,508 \text{ Klb/plg}^2 \quad (78)$$

El esfuerzo de compresión es $0,508 \text{ Klb/plg}^2$.

b) Cálculo de la Esbeltez.

La esbeltez se puede calcular con la siguiente ecuación 79.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r_{min}} \quad (79)$$

Donde:

- λ : Es la esbeltez.
- K : Es el factor de estabilidad de las columnas basado en la tabla (Anexo #C) [81].
- L : Es la longitud de la columna.
- r_{min} : Es el radio mínimo basado en la tabla (Anexo #B) [80].

Datos:

- Factor de estabilidad, $K = 0,65$.
- Longitud de la columna, $L = 90 \text{ cm}$.
- Radio mínimo, $r_{min} = 1,49 \text{ cm}$.

Reemplazando los valores en la ecuación de esbeltez:

$$\lambda = \frac{(0,65) \cdot (90 \text{ cm})}{1,49 \text{ cm}} \quad (80)$$

$$\lambda = 37,51 \quad (81)$$

La esbeltez calculada es 37,51.

c) Determinación del Esfuerzo Admisible.

Se busca en la tabla el esfuerzo admisible correspondiente a la esbeltez calculada, encontramos que nuestro esfuerzo admisible 18.15 Klb/plg². Para determinar el esfuerzo admisible F_a , se utiliza la siguiente ecuación 82.

En la figura 46 se determinará el factor correspondiente de nuestro material.

| TIPO O CLASE DE CARGA | ACERO, METALES DÚCTILES | | HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES | MADERA DE CONSTRUCCIÓN |
|--|----------------------------------|--|----------------------------------|------------------------|
| | Basado en la resistencia máxima* | Basado en la resistencia de fluencia** | Basado en la resistencia máxima* | |
| Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga | 3 - 4 | 1.5 - 2 | 5 - 6 | 7 |

Las siguientes recomendaciones **NO** se deben adoptar si se hace análisis por fatiga

| | | | | |
|---|---------|-------|---------|----|
| Repetida en una dirección, gradual (choque suave) | 6 | 3 | 7 - 8 | 10 |
| Repetida invertida, gradual (choque medio) | 8 | 4 | 10 - 12 | 15 |
| Choque fuerte | 10 - 15 | 5 - 7 | 15 - 20 | 20 |

Figura 46. Factor de diseño para materiales dúctiles [80]

$$F_a = \frac{F_y}{\text{Factor de seguridad}} \quad (82)$$

$$F_a = \frac{36,3 \text{ Kpsi}}{2} = 18,15 \text{ Klb/plg}^2 \quad (83)$$

Donde:

- F_a : es el esfuerzo admisible.
- F_y : es el límite de fluencia del material.
- Factor de seguridad: valor considerado en aplicaciones industriales, típicamente entre 2 y 3, dependiendo de las vibraciones, impactos y cargas variables.

El esfuerzo admisible calculado es $F_a = 18,15 \text{ klb/plg}^2$.

d) Condición para que la Columna Soporte la Carga.

La condición para que la columna soporte la carga se expresa como:

$$f_a \leq F_a \quad (84)$$

Sustituyendo los valores:

$$0,508 \text{ klb/plg}^2 \leq 18,15 \text{ klb/plg}^2 \quad (85)$$

Con los datos obtenidos, se demuestra que el esfuerzo a compresión es menor que el esfuerzo admisible, cumpliendo así la condición establecida.

Análisis de vigas

La condición para que la viga soporte las cargas aplicadas se expresa en la siguiente ecuación 86.

$$fb \leq Fb \quad (86)$$

a) Cálculo del Momento Máximo y del Esfuerzo Admisible.

El momento máximo y el esfuerzo admisible se pueden calcular utilizando las siguientes ecuaciones.

Datos:

- Fluencia del material, $F_y = 250 \text{ MPa} = 36,36 \text{ Klb/plg}^2$ (Anexo #D) [82].
- Longitud, $L = 0,680 \text{ m} = 26,77 \text{ plg}$.

Donde:

- fb : Esfuerzo de flexión.
- Fb : Esfuerzo admisible.

b) Cálculo del Momento Máximo M_{max} .

El momento máximo se puede calcular con la siguiente ecuación 87.

$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{8} \quad (87)$$

Donde:

- M_{max} : Momento máximo.
- P : Carga aplicada.
- L : Longitud de la viga.

Datos:

- Carga aplicada, $P = 0,330693 \text{ Klb}$.
- Longitud, $L = 26,77 \text{ plg}$.

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$M_{max} = \frac{(0,330693 \text{ Klb})(26,77 \text{ plg})}{8} = 1,10 \text{ Klb/plg} \quad (88)$$

c) Cálculo del Esfuerzo Admisible Fb .

El esfuerzo admisible se puede calcular con la siguiente ecuación 89.

$$Fb = 0,66 \cdot Fy \quad (89)$$

Donde:

- Fb : Esfuerzo admisible.
- Fy : Fluencia del material.

Datos:

- Fluencia del material, $Fy = 36,36 \text{ Klb/plg}^2$ (Anexo #D) [82].

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$Fb = 0,66 \cdot 36,36 \text{ Klb/plg}^2 \quad (90)$$

Calculando el valor de Fb :

$$Fb = 23,99 \text{ Klb/plg}^2 \quad (91)$$

d) Cálculo del Esfuerzo de Flexión.

El esfuerzo de flexión se puede calcular con la siguiente ecuación 92.

$$fb = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \quad (92)$$

Donde:

- M_{max} : Momento máximo.
- C : Distancia al eje neutro.
- I : Momento de inercia.

Datos:

- Inercia, $I = 9,36 \text{ cm}^4 = 0,225 \text{ plg}^4$ (Anexo #B) [80].
- Distancia al eje neutro, $C = 0,02 \text{ m} = 0,79 \text{ plg}$.

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$Fb = \frac{(1,10 \text{ Klb/plg})(0,79 \text{ plg})}{0,225 \text{ plg}^4} = 3,86 \text{ Klb/plg}^2 \quad (93)$$

Calculando el valor de fb :

$$fb = 3,86 \text{ Klb/plg}^2 \quad (94)$$

e) Verificación de la Condición de la Viga.

La condición para que la viga soporte las cargas se verifica comparando los valores obtenidos:

$$3,86 \text{ Klb/plg}^2 \leq 23,99 \text{ Klb/plg}^2 \quad (95)$$

Dado que el esfuerzo de flexión es menor que el esfuerzo admisible, la viga cumple con las condiciones de carga.

2. Cálculo de soldadura

Para el cálculo de la soldadura que se le aplicará, tomaremos en cuenta el peso total de la carga con la tolva y todo lo que la compone, que es un peso de $150 \text{ kg} = 330.693 \text{ libras} = 0.330693 \text{ Klb}$. La estructura será soldada a un tubo cuadrado de 40 mm con un espesor de 3 mm . Se utilizará un electrodo 6011 para la soldadura con un espesor de 3 mm . Se utilizará un electrodo 6010 para la soldadura, con $h = \frac{1}{4} \text{ plg}$ (Anexo #E) [83].

a) Comprobación del Electrodo.

Para comprobar que el electrodo escogido es el correcto, se utiliza la siguiente fórmula 96.

$$F = F_u \cdot l \quad (96)$$

Donde:

- F : es la resistencia del material.
- F_u : es la fuerza permisible por longitud ordinaria (Anexo #4).
- l : es la longitud de soldadura.

Datos:

- Área del tubo, 40 mm .
- $b = 40 \text{ mm} = 1,57 \text{ plg}$.
- $d = 40 \text{ mm} = 1,57 \text{ plg}$.
- Fuerza permisible por longitud ordinaria, $F_u = 3,18 \text{ KIP/plg}$.

Primero, calculamos la longitud de soldadura como:

$$l = 2b + d = 2(1,57) + 1,57 = 4,72 \text{ plg} \quad (97)$$

Luego, sustituimos en la ecuación de resistencia del material:

$$F = (3,18 \text{ KIP/plg}) \cdot (4,72 \text{ plg}) = 15,009 \text{ Klb} \quad (98)$$

Finalmente, comparamos con la carga aplicada:

$$0,330693 \text{ Klb} \leq 15,009 \text{ Klb} \quad (99)$$

Dado que el metal de aporte tiene una mayor resistencia que la carga aplicada, el electrodo cumple su función.

b) Cálculo del Esfuerzo Normal.

Para calcular el esfuerzo normal, primero se calcula el área de soldadura con la siguiente ecuación 100.

$$A_W = 0,707 \cdot h \cdot (2b + d) \quad (100)$$

Donde:

- $h = \frac{1}{4}$ plg.
- $b = 40 \text{ mm} = 1,57$ plg.
- $d = 40 \text{ mm} = 1,57$ plg.

Reemplazando en la ecuación:

$$A_W = 0,707 \cdot 0,25 \cdot (3,14 + 1,57) = 0,832 \text{ plg}^2 \quad (101)$$

Con el área de soldadura calculada, se procede a calcular el esfuerzo normal con la siguiente ecuación 102.

$$\sigma = \frac{P}{A_W} \quad (102)$$

Donde:

- $P = 330,693$ libras.
- $A_W = 0,832 \text{ plg}^2$.

Reemplazando en la ecuación:

$$\sigma = \frac{330,693 \text{ lb}}{0,832 \text{ plg}^2} = 397,46 \text{ psi} \quad (103)$$

c) Cálculo del Esfuerzo Permisible.

Con la siguiente ecuación 104, se puede calcular el esfuerzo permisible.

$$\sigma \leq 0,60 \cdot S_{UT} \quad (104)$$

Reemplazando los valores, sabiendo que el Sut Anexo# G [83].

$$0,60 \cdot 62 \text{ Kpsi} = 37,2 \text{ Kpsi} \quad (105)$$

Verificación:

$$397,46 \text{ psi} \leq 37,2 \text{ Kpsi} \quad (106)$$

d) Cálculo del Factor de Seguridad.

Para calcular el factor de seguridad, se utiliza la siguiente fórmula 107.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma} \quad (107)$$

Donde:

- $S_y = 50 \text{ Kpsi}$: Resistencia del material.
- $\sigma = 900,92 \text{ psi}$: Esfuerzo normal calculado.

Reemplazando en la ecuación:

$$F_s = \frac{50 \text{ Kpsi}}{397,46 \text{ Kpsi}} = 125,79 \quad (108)$$

Una vez obtenido el factor de seguridad se pudo comprobar que la estructura cumple con el parámetro para que no tenga inconvenientes al momento de su funcionamiento.

3. Cálculo de la mesa soporte - cuadrípode

a) Cálculo del momento flector máximo.

En la figura 47 se ilustra el perfil correspondiente a la mesa soporte en la cual se realizará los respectivos cálculos de reacciones y momentos.

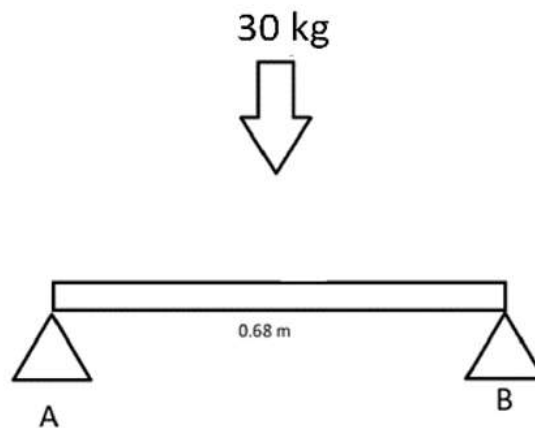


Figura 47. Perfil angular. Fuente: Los autores.

El momento flector máximo se puede calcular con la siguiente ecuación 109.

$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{8} \quad (109)$$

Donde:

- M_{max} : Momento máximo.
- P : Carga aplicada.
- L : Longitud.

Datos:

- $P = 150 \text{ Kg}$
- $L = 0,68 \text{ m}$
- N (Número de vigas) = 5 vigas.

Se calcula la fuerza aplicada en cada viga dividiendo la carga total entre el número de vigas:

$$\frac{F}{N} = \frac{150 \text{ Kg}}{5} = 30 \text{ Kg} \quad (110)$$

$$F = F_N \times g \quad (111)$$

$$F = (30 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 294 \text{ N} \quad (112)$$

$$F = 555,3 \text{ N} \quad (113)$$

Se reemplaza el valor de F en la ecuación del momento flector máximo:

$$M_{\max} = \frac{(294 \text{ N}) \times (0,68 \text{ m})}{8} = 24,99 \approx 25 \text{ Nm} \quad (114)$$

b) Cálculo de la Carga Puntual.

La carga puntual se puede calcular con la siguiente ecuación 115.

$$\text{Carga puntual} = T \times L \quad (115)$$

Donde:

- $T = \frac{F}{N} = 30 \text{ Kg}$
- $L = 0,68 \text{ m}$

$$\text{Carga puntual} = 30 \text{ kg} \times 0,68 \text{ m} = 20,4 \text{ Kg.m} \quad (116)$$

c) Cálculo de Reacciones.

En la figura 48 se observa la fuerza que actúan sobre la mesa. Además mediante el diagrama de cuerpo libre nos facilita los cálculos en las reacciones y momentos.

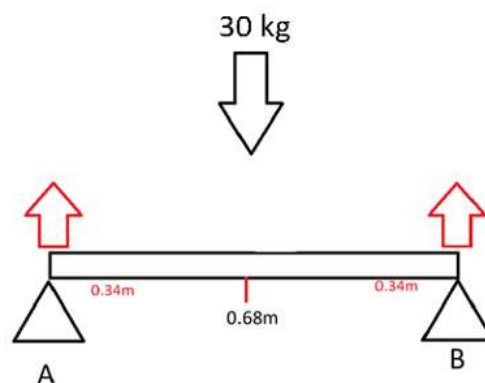


Figura 48. Diagrama de cuerpo libre del perfil angular. Fuente: Los autores.

Aplicamos la condición de equilibrio en y con la ecuación 117.

$$\sum \epsilon Fy = 0 \quad (117)$$

Donde:

- RA y RB : Reacciones en los apoyos.
- 20,4 Kg.m: Carga puntual.

El equilibrio vertical nos da:

$$RA + RB - 20,4 = 0 \quad (118)$$

Para hallar RB , calculamos el momento en A :

$$\sum \epsilon Ma = 0 \quad (119)$$

$$-20,4 \times \frac{0,68}{2} + RB \times 0,68 = 0 \quad (120)$$

Resolviendo para RB :

$$RB = \frac{20,4 \times \left(\frac{0,68}{2}\right)}{0,68} \quad (121)$$

$$RB = 10,2 \text{ Kg} \quad (122)$$

Reemplazando RB en la ecuación de equilibrio:

$$RA + 10,2 - 20,4 = 0 \quad (123)$$

$$RA = 10,2 \text{ Kg} \quad (124)$$

d) Determinación del Momento Flector y Esfuerzo Cortante.

A continuación en la ecuación 125 se tiene la ecuación de momento flector y también la ecuación 126

$$Fc = \text{Reacción} - F_N \cdot x \quad (125)$$

$$Mf = \text{Reacción} \cdot x + \frac{F_N}{2} \cdot x^2 \quad (126)$$

e) Cálculo de Esfuerzo Cortante.

Cuando $X = 0$:

$$F_c = 10,2 \text{ Kg} - 30 \text{ Kg} \times 0 = 10,2 \text{ Kg} \quad (127)$$

Cuando $X = 0,34$:

$$F_c = 10,2 \text{ Kg} - 30 \text{ Kg} \times 0,34 = 0 \quad (128)$$

Cuando $X = 0,68$:

$$F_c = 10,2 \text{ Kg} - 30 \text{ Kg} \times 0,68 = -10,2 \text{ Kg} \quad (129)$$

f) Cálculo de Momentos Flectores.

Cuando $X = 0$:

$$M_f = (10,2 \text{ Kg}) \times 0 + \left(\frac{30 \text{ Kg}}{2} \right) \times (0)^2 = 0 \quad (130)$$

Cuando $X = 0,34$:

$$M_f = (10,2 \text{ Kg}) \times 0,34 \text{ m} + \left(\frac{30 \text{ Kg}}{2} \right) \times (0,34 \text{ m})^2 = -1,734 \text{ Kg.m} \quad (131)$$

Cuando $X = 0,68$:

$$M_f = (10,2 \text{ Kg}) \times 0,68 \text{ m} + \left(\frac{30 \text{ Kg}}{2} \right) \times (0,68 \text{ m})^2 = 0 \quad (132)$$

g) Carga Axial.

El esfuerzo axial se puede calcular con la siguiente ecuación 133.

$$\sigma_a = \frac{M \cdot C}{I} \quad (133)$$

Donde:

- σ_a : Esfuerzo Axial.
- $M = 25 \text{ Nm}$: Momento.
- $C = 0,02 \text{ m}$: Distancia al centroide.
- $I = 9,36 \text{ cm}^4 = 0,225 \text{ plg}^4$. Inercia (Anexo #B) [80].

$$\sigma_a = \frac{(25 \text{ Nm}) \times (0,02 \text{ m})}{9,36 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 534,18 \text{ MPa} \quad (134)$$

h) Cálculo del Factor de Seguridad.

La fluencia del hierro negro se considera 250 MPa (Anexo #D) [82].

El factor de seguridad se puede calcular con la siguiente ecuación 135.

$$F_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_a} \quad (135)$$

Donde:

- $\sigma_f = 250 \text{ MPa}$: Fluencia del hierro.
- $\sigma_a = 534,18 \text{ MPa}$: Esfuerzo axial.

$$F_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_a} = \frac{250 \text{ MPa}}{534,18 \text{ MPa}} = 0,46 \quad (136)$$

i) Cálculo de la Carga Crítica de Pandeo

La carga crítica de pandeo de los soportes estructurales se puede calcular con la siguiente ecuación 137.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2} \quad (137)$$

Donde:

- $E = 200 \times 10^9$ Pa: Módulo de elasticidad.
- $I = 9,36 \text{ cm}^4 = 0,225 \text{ plg}^4$. Inercia (Anexo #B) [80].
- $L = 0,68$ m: Longitud.
- K : Factor de pandeo (Anexo #C) [81].

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (200 \times 10^9) \cdot (9,36 \times 10^{-8})}{(0,65 \times 0,68)^2} = 945716,68 \text{ N} \quad (138)$$

j) Cálculo del Esfuerzo Permisible.

El esfuerzo permisible se calcula teniendo en cuenta todos los componentes que ejercerán un peso sobre la estructura:

$$P = 150 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1470 \text{ N} \quad (139)$$

La carga total se divide entre 4, que son los componentes que soportarán el mayor peso (4 vigas):

$$\frac{P}{N} = \frac{1470 \text{ N}}{3} = 490 \text{ N} \quad (140)$$

k) Factor de Seguridad.

El factor de seguridad se puede calcular con la siguiente ecuación 141.

$$F_s = \frac{P_{aplicada}}{P_{critica}} \quad (141)$$

$$F_s = \frac{P_{critica}}{P_{aplicada}} = \frac{945716,68 \text{ N}}{490 \text{ N}} = 1930 \quad (142)$$

VI-F. Simulaciones de la mesa soporte - cuadrípode

En la figura 49 se observa la fuerza que actúan sobre el eje. Además mediante el diagrama de cuerpo libre ya realizado en los cálculos de esta forma nos facilitaría los cálculos en las reacciones y momentos. Se está realizando un análisis estático para poder indicar como las fuerzas aplicadas afectan a la estructura y así comprobar que la mesa si es capaz de soportar la carga sin fallar.

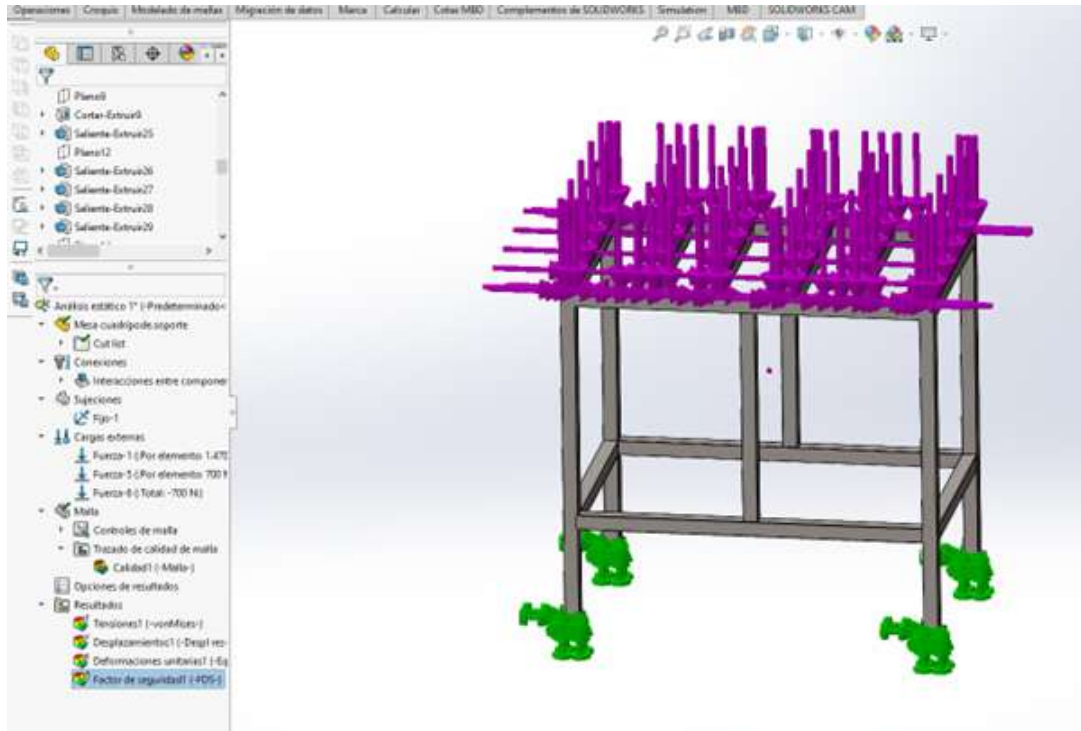


Figura 49. Simulación de la estructura mesa soporte. Fuente: Los autores.

La simulación en la figura 50 esta enfocada en el análisis estructural con énfasis en las tensiones que sufre la estructura. A la izquierda se remarca una escala de color la cual determina cuanta tensión esta soportando la mesa de soporte, siendo el azul un nivel bajo de tensión y siendo el rojo el nivel máximo de tensión permitido. El límite elástico es de 250 MPa, si en algún momento la estructura supera este límite, la mesa de soporte entraría en una deformación permanente.

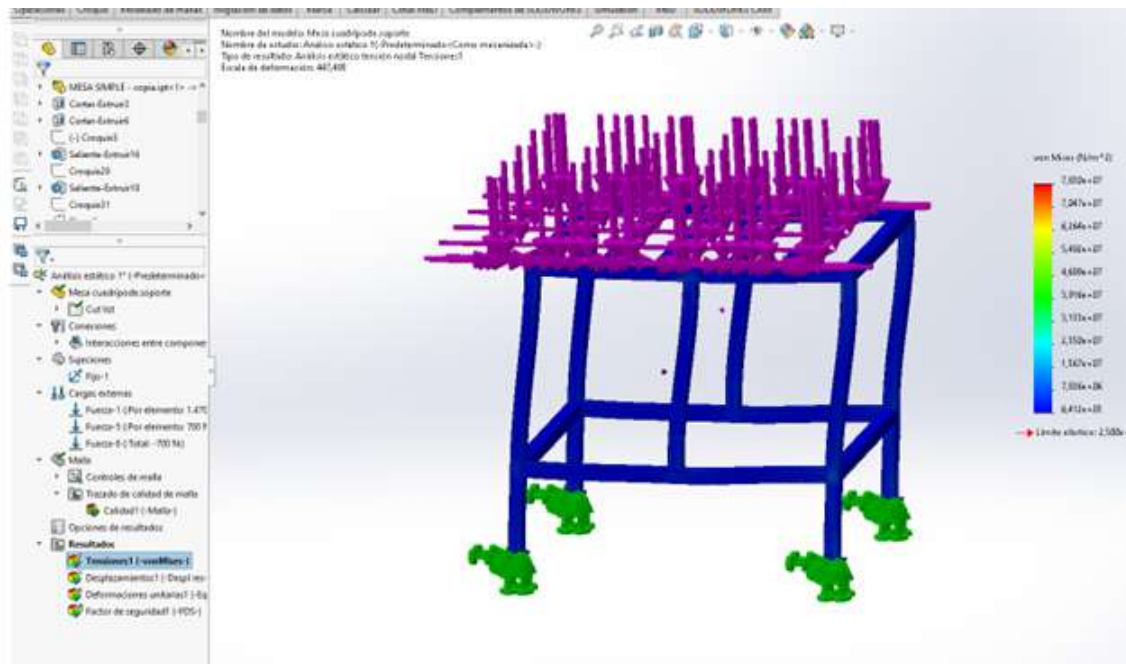


Figura 50. Análisis de fuerzas externas de la estructura tipo mesa soporte. Fuente: Los autores.

La última simulación en la figura 51 realizada a la mesa de soporte es en base a un análisis del factor de seguridad de la estructura. Para el diseño de la mesa escogimos un factor de seguridad de 2 lo que significa que la estructura puede soportar el doble de la carga máxima antes de que empiece a fallar.

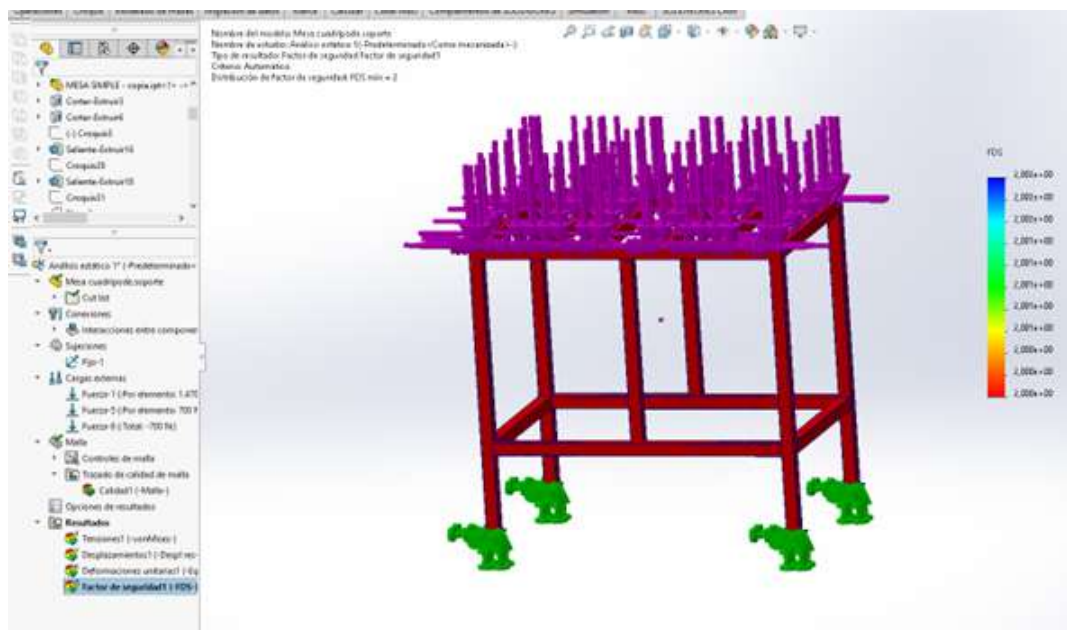


Figura 51. Factor de seguridad de la mesa soporte. Fuente: Los autores.

VI-G. Diseño del molino de martillo con cuchillas

a) Cálculo de botellas trituradas por hora

Vamos a proceder a realizar el cálculo de cuántos kilogramos por hora de vidrio triturado obtendremos en una jornada laboral de 8 horas:

Primero, pasamos el valor en gramos del peso de la botella a un valor equivalente en toneladas:

$$\frac{226,76 \text{ g de peso de botella}}{1000000 \text{ g}} = 0,00022676 \text{ toneladas} \quad (143)$$

Hallado el valor en toneladas, procedemos a hallar el número de botellas por mes:

$$\frac{1,1 \text{ tonelada por mes}}{0,00022676 \text{ toneladas por botella}} = 4850,9437 \text{ botellas por mes} \quad (144)$$

El siguiente valor que hallaremos es cuántas botellas se trituran por día:

$$\frac{4850,9437 \text{ botellas por mes}}{30 \text{ días}} = 161,6981 \text{ botellas por día} \quad (145)$$

Ahora debemos hacer la conversión para saber cuántas botellas se trituran en una jornada laboral de 8 horas:

$$\frac{161,6981 \text{ botellas por día}}{8 \text{ horas}} = 20,2124 \text{ botellas por hora} \quad (146)$$

Es primordial para nuestro cálculo hallar cuántas botellas se trituran cada 15 minutos, entonces procedemos a hacer la siguiente conversión:

$$\frac{20,2124 \text{ botellas por hora}}{4} = 5,0530 \text{ botellas cada 15 minutos} \quad (147)$$

Ahora procedemos a hallar el mismo valor pero con un rango de cada 5 minutos:

$$\frac{5,0530 \text{ botellas cada 15 minutos}}{3} = 1,6843 \text{ botellas cada 5 minutos} \quad (148)$$

Finalmente, multiplicamos el valor de botellas cada 5 minutos por 12 intervalos que es lo que tiene una hora:

$$1,6843 \text{ botellas cada 5 minutos} \times 12 = 20,2116 \text{ botellas trituradas cada hora} \quad (149)$$

Se tritura alrededor de 20,21 botellas cada una hora. Una vez obtenido ese valor podremos calcular la tasa del flujo de masa que debe cumplir la maquina trituradora, el cual representa una asociación entre la proporción de masa y el tiempo que se tardara en triturarse.

$$\dot{m} = 226,76 \text{ g/botellas} \times 20,21 = 4582,8196 \text{ g/hora} = 4,5 \text{ kg/hora} \quad (150)$$

$$\dot{m} = 4,5 \text{ kg/hora} \times 1,1 \text{ Toneladas al mes} = 0,00450 \text{ tonelada/hora} \quad (151)$$

b) Capacidad de Molienda

Es el factor que determina la cantidad de vidrio que la maquina trituradora debe procesar es un periodo de tiempo determinado.

Datos:

- Masa de la botella de vidrio: 220 g.

- Cantidad de vidrio triturado por hora: $m_{\text{vidrio}} = 4,5 \text{ Kg/H}$ (Este cálculo está basado en una jornada de 8 horas).

c) Cálculo del Número de cuchillas

Para calcular la cantidad de martillos necesarios para triturar la cantidad de vidrio establecida por la capacidad de molienda, se emplea una relación conocida como grado de desmenuzamiento. Esta relación proporciona una constante que depende del diámetro de entrada y del diámetro de salida del material. La ecuación que usaremos será la siguiente:

$$\iota = \frac{D}{d} \quad (152)$$

Donde:

- ι : nivel de reducción.
- D : Dimensión de entrada del vidrio.
- d : Dimensión de salida del vidrio.

Reemplazamos nuestros datos en la ecuación:

$$\iota = \frac{53,3 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 5,33 \quad (153)$$

Una vez obtenido el nivel de reducción, se empieza a calcular el número de pedazos de vidrio que deben ser golpeados en cada revolución. Para esto, se mide la masa de un pedazo de vidrio típico con una dimensión cercana de 10 mm, el cual tiene una masa de 0,50 g. A partir de esta medida, se determina la cantidad de pedazos de vidrio por revolución de la siguiente manera:

Se calcula el número de fragmentos de 10 mm que existen en 1 kilogramo de vidrio:

$$1 \text{ fragmento} = 0,50 \text{ g} \quad (154)$$

$$X \text{ fragmentos} = 1000 \text{ g} \quad (155)$$

$$X = \frac{1000 \text{ g}}{0,50 \text{ g}} = 2000 \text{ fragmentos} \quad (156)$$

A partir de la capacidad de molienda, se determina la cuantía de Kg que deben ser triturados por revolución:

$$4,5 \text{ Kg/H} \times \frac{1 \text{ H}}{60 \text{ min}} = 0,075 \text{ Kg/min} \quad (157)$$

Con una velocidad de rotación de 150 RPM, se calculan los kilogramos por revolución:

$$0,075 \text{ Kg/min} \times \frac{1 \text{ min}}{150 \text{ rev}} = 0,0005 \text{ Kg/rev} \quad (158)$$

Finalmente, se determina la cantidad de fragmentos por revolución:

$$\frac{0,0005 \text{ Kg/rev}}{0,50 \text{ g}} = 0,877 \text{ fragmentos/rev} \quad (159)$$

d) Cálculo del Número de cuchillas

Una vez calculados todos los valores anteriores, podemos establecer el número necesario de cuchillas para nuestra trituradora:

$$\# \text{de cuchillas} = \iota \times \text{numero de fragmento por revolución} \quad (160)$$

Reemplazamos los valores:

$$\# \text{de cuchillas} = 5,33 \times 0,877 \text{ fragmentos/rev} = 4,67 \text{ cuchillas} \quad (161)$$

e) Fuerza de Corte

Para calcular la fuerza de corte necesaria, es fundamental entender la interacción entre la cuchilla y el vidrio. Para determinar la resistencia al corte del material, se utiliza la fórmula 162. La fuerza de corte depende de la resistencia del material a ser cortado, que en nuestro caso es vidrio SODACAL, comúnmente utilizado en botellas de cerveza. Para determinar la resistencia al corte del material, utilizamos la siguiente fórmula.

162:

$$\tau_B = 0,8 \times \sigma_B \quad (162)$$

Donde:

- τ_B : es la resistencia a la cizalladura.
- σ_B : es la resistencia a la rotura (65 MPa) (Anexo #F) [84].

Procedemos a calcular la fuerza de corte utilizando la siguiente ecuación 163:

$$F_h = \tau_B \times L \times s \quad (163)$$

Donde:

- F_h : es la fuerza de corte.
- τ_B : es la resistencia a la cizalladura.
- L : es la longitud de cizallamiento.
- s : es el espesor a cortar.

Reemplazando los valores en las ecuaciones, obtenemos:

$$\tau_B = 0,8 \times 662,818 \text{ Kg/cm}^2 = 5302544 \text{ Kg/m}^2 \quad (164)$$

Una vez hallada τ_B , determinamos la fuerza de corte F_h con los valores siguientes:

- $\tau_B = 5302544 \text{ Kg/m}^2$
- $L = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ (mínimo de la categoría de trituración fina)
- $s = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$ (espesor más grueso de la botella)

Reemplazando en la ecuación 163:

$$F_h = 5302544 \text{ Kg/m}^2 \times 5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 3 \times 10^{-3} \text{ m} = 79,53 \text{ Kg} \quad (165)$$

Finalmente, convertimos la fuerza de corte a Newtons:

$$F_h = 79,53 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 779,47 \text{ N} \quad (166)$$

f) Estático del Eje

Se realiza un cálculo tanto estático como dinámico para poder seleccionar el diámetro del eje. Es fundamental tomar en cuenta el torque de cizalladura que se aplicará al eje utilizando la siguiente ecuación 167:

$$T_c = F_h \times \left(\frac{L}{2} + d \right) \quad (167)$$

Donde:

- T_c : es el torque de cizalladura.
- F_h : es la fuerza de corte.
- L : es la longitud efectiva de la cuchilla.
- d : es la distancia del filo más cercano.

Reemplazando los valores en la ecuación 167, obtenemos:

- $L = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$
- $d = 17,5 \text{ mm} = 0,0175 \text{ m}$
- $F_h = 779,47 \text{ N}$

$$T_c = 779,47 \text{ N} \times \left(\frac{0,025 \text{ m}}{2} + 0,0175 \text{ m} \right) = 23,38 \text{ Nm} \quad (168)$$

g) Pesos que Actúan sobre el Eje

Como hemos escogido que el material tanto para el eje como para las cuchillas será un acero 304, podemos determinar que su densidad es de 7850 Kg/m^3 [85].

Primero determinamos el volumen de la cuchilla utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de la cuchilla} = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor} \quad (169)$$

Datos:

- Longitud = $135 \text{ mm}/1000 = 0,135 \text{ m}$
- Ancho = $50 \text{ mm}/1000 = 0,05 \text{ m}$
- Espesor = $3,5 \text{ mm}/1000 = 3,5 \times 10^{-3} \text{ m}$

Reemplazando en la ecuación, obtenemos:

$$\text{Volumen de la cuchilla} = 0,135 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,0035 \text{ m} = 2,362 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (170)$$

Antes de hallar la masa total de las cuchillas, necesitamos calcular la masa de cada cuchilla individual:

$$\text{Masa de la cuchilla} = \text{Densidad} \times \text{Volumen} \quad (171)$$

Reemplazando con nuestros datos:

$$\text{Masa de la cuchilla} = 7850 \text{ Kg/m}^3 \times 2,362 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0,185 \text{ Kg} \quad (172)$$

La masa total de las cuchillas es:

$$\text{Masa total de las cuchillas} = 0,185 \text{ Kg} \times 10 \text{ cuchillas} = 1,85 \text{ Kg} \quad (173)$$

Ahora realizamos los mismos cálculos para el eje, utilizando la densidad del acero 304, que es 7930 Kg/m^3 [86].

$$\text{Volumen del eje} = \pi \times r^2 \times h \quad (174)$$

Datos:

- Radio del eje = $0,0254 \text{ m}/2 = 0,0127 \text{ m}$
- Longitud del eje $h = 0,4 \text{ m}$

Reemplazando en la ecuación:

$$\text{Volumen del eje} = \pi \times (0,0127 \text{ m})^2 \times 0,4 \text{ m} = 2,02 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (175)$$

La masa del eje se calcula como:

$$\text{Masa del eje} = \text{Volumen del eje} \times \text{Densidad} \quad (176)$$

Reemplazando con nuestros datos:

$$\text{Masa del eje} = 2,02 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7930 \text{ Kg/m}^3 = 1,607 \text{ Kg} \quad (177)$$

Masa Total: La masa total se obtiene sumando las masas de las cuchillas y el eje:

$$\text{Masa total} = \text{Masa de las cuchillas} + \text{Masa del eje} \quad (178)$$

Reemplazando con nuestros valores:

$$\text{Masa total} = 1,85 \text{ Kg} + 1,607 \text{ Kg} = 3,457 \text{ Kg} \quad (179)$$

Peso Total: Para hallar el peso total, multiplicamos la masa total por la gravedad:

$$P = \text{Masa total} \times g \quad (180)$$

Reemplazando con nuestros valores:

$$P = 3,457 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 33,87 \text{ N} \quad (181)$$

h) Reacción del Eje

En ejes que están empotrados, el momento flector se calcula con la siguiente ecuación 182:

$$M_{max} = \frac{P \times L}{8} \quad (182)$$

donde:

- M_{max} : es el momento máximo.
- P : es la carga aplicada (sumatoria de fuerza de corte y masa total, en N).
- L : es la longitud.

Datos:

- $P = \frac{813,34 \text{ N}}{2} = 406,67 \text{ N}$
- $L = 0,40 \text{ m}$

Reemplazando en la ecuación 182, obtenemos:

$$M_{max} = \frac{406,67 \text{ N} \times 0,40 \text{ m}}{8} = 20,33 \text{ Nm} \quad (183)$$

Con los datos que tenemos, también podemos hallar la carga puntual, que se calcula con la siguiente ecuación 184:

$$\text{Carga puntual} = T \times L \quad (184)$$

donde:

- $T = 406,67 \text{ N}$
- $L = 0,40 \text{ m}$

Reemplazando los valores en la ecuación 184:

$$\text{Carga puntual} = 406,67 \text{ N} \times 0,40 \text{ m} = 162,66 \text{ Nm} \quad (185)$$

i) Reacción de A y B:

Considerando el diagrama de cuerpo libre:

En la figura 52 se observa la fuerza que actúan sobre el eje. Además mediante el diagrama de cuerpo libre se nos facilita los cálculos en las reacciones y momentos.

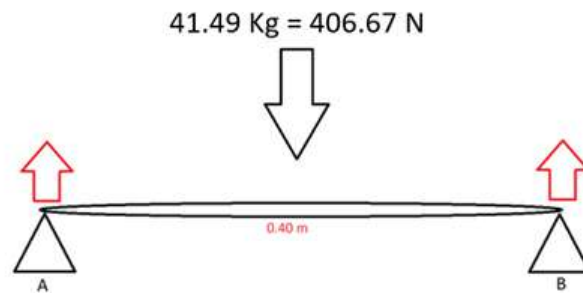


Figura 52. Diagrama de cuerpo libre del eje. Fuente: Los autores.

$$\sum F_y = 0 \implies R_A + R_B - 162,66 \text{ N} = 0 \quad (186)$$

Por lo tanto, $R_A + R_B = 162,66 \text{ N}$.

Ahora procedemos a hallar el momento en A para determinar R_B :

$$\sum M_A = 0 \implies 162,66 \times \left(\frac{0,40 \text{ m}}{2}\right) + R_B \times 0,40 \text{ m} = 0 \quad (187)$$

Reemplazando los valores:

$$R_B = \frac{162,66 \times \left(\frac{0,40 \text{ m}}{2}\right)}{0,40 \text{ m}} = 81,33 \text{ N} \quad (188)$$

Reemplazando el valor de R_B en la ecuación inicial para hallar R_A :

$$\sum F_y = 0 \implies R_A + 81,33 \text{ N} = 162,66 \text{ N} \quad (189)$$

$$R_A = 81,33 \text{ N} \quad (190)$$

j) Determinación de Momento Flector y Esfuerzo Cortante

Dejamos establecidas las ecuaciones de momento flector 192 y esfuerzo cortante 191 con las cuales trabajaremos:

$$F_c = R - P \times x \quad (191)$$

$$M_f = R \times x + \frac{P}{2} \times x^2 \quad (192)$$

Ahora procederemos a hallar los esfuerzos cortantes variando X :

- Cuando $X = 0$:

$$F_c = 81,33 \text{ N} - (406,67 \text{ N}) \times 0 = 81,33 \text{ N} \quad (193)$$

- Cuando $X = 0,20 \text{ m}$:

$$F_c = 81,33 \text{ N} - (406,67 \text{ N}) \times 0,20 \text{ m} = 0 \text{ N} \quad (194)$$

- Cuando $X = 0,40 \text{ m}$:

$$F_c = 81,33 \text{ N} - (406,67 \text{ N}) \times 0,40 \text{ m} = -81,33 \text{ N} \quad (195)$$

Ahora hallamos los momentos flectores variando X :

- Cuando $X = 0$:

$$M_f = (81,33 \text{ N}) \times 0 + (203,33 \text{ N}) \times (0)^2 = 0 \text{ Nm} \quad (196)$$

- Cuando $X = 0,20 \text{ m}$:

$$M_f = (81,33 \text{ N}) \times 0,20 \text{ m} + (203,33 \text{ N}) \times (0,20 \text{ m})^2 = -16,266 + 8,133 = -8,133 \text{ Nm} \quad (197)$$

- Cuando $X = 0,40 \text{ m}$:

$$M_f = (81,33 \text{ N}) \times 0,40 \text{ m} + (203,33 \text{ N}) \times (0,40 \text{ m})^2 = -32,53 + 32,53 = 0 \text{ Nm} \quad (198)$$

k) Carga Axial

El esfuerzo axial se calcula utilizando la siguiente ecuación 199:

$$\sigma_a = \frac{M \times C}{I} \quad (199)$$

Donde:

- σ_a : es el esfuerzo axial.
- M : es el momento máximo ($M_{max} = 20,33 \text{ N}$).
- C : es la distancia al centroide ($C = 0,0127 \text{ m}$).
- I : es la inercia ($I = \frac{\pi \times (\text{Diámetro del eje})^4}{64} = 2,0431 \times 10^{-8} \text{ m}^4$).

Reemplazando los valores en la ecuación 199:

$$\sigma_a = \frac{(20,33 \text{ N}) \times (0,0127 \text{ m})}{2,0431 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 12,63 \text{ MPa} \quad (200)$$

l) Cálculo del Factor de Seguridad

Calculamos el factor de seguridad con los datos obtenidos utilizando la siguiente fórmula 201:

$$F_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_a} \quad (201)$$

Donde:

- σ_f : es la fluencia del material (Hierro negro: 235 MPa) [86].
- σ_a : es el esfuerzo axial (12,63 MPa).

Reemplazando los valores:

$$F_s = \frac{235 \text{ MPa}}{12,63 \text{ MPa}} = 18,60 \quad (202)$$

m) Carga Crítica de Pandeo

Procedemos a hallar el cálculo de la carga crítica de pandeo de los soportes estructurales utilizando la siguiente ecuación 203:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (203)$$

Donde:

- E : es el módulo de elasticidad ($200 \times 10^9 \text{ Pa}$) [87].
- I : es la inercia ($2,0431 \times 10^{-8} \text{ m}^4$).
- L : es la longitud (0,40 m).
- K : es el factor de pandeo (Anexo #B) [80].

Reemplazando los valores en la ecuación 203:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \text{ Pa} \times 2,0431 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{(0,65 \times 0,40 \text{ m})^2} = 596585,466 \text{ N} \quad (204)$$

Se procede a calcular el esfuerzo permisible contando todos los componentes que ejercerán un peso sobre el eje. La carga total se dividirá para 2, que serán los componentes que soportarán el mayor peso. Datos:

- Carga total $P = 813,34 \text{ N}$
- Número de secciones $N = 2$
- Carga por sección $P/N = \frac{813,34 \text{ N}}{2} = 406,67 \text{ N}$
- $P_{aplicada} = 406,67 \text{ N}$

El factor de seguridad se calcula utilizando la siguiente fórmula 205:

$$F_s = \frac{P_{cr}}{P_{aplicada}} \quad (205)$$

Reemplazando los valores:

$$F_s = \frac{596585,466 \text{ N}}{406,67 \text{ N}} = 1467 \quad (206)$$

n) Cálculos de Esfuerzos

Dado que el eje está recibiendo cargas tanto de torsión como de flexión, se aplicará la ecuación de esfuerzos combinados:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (207)$$

Donde:

- τ : es el esfuerzo por momento torsor.

- σ_b : es el esfuerzo de flexión.

Las ecuaciones para τ y σ_b son las siguientes:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (208)$$

$$\sigma_b = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (209)$$

Consideramos un factor de diseño para materiales dúctiles, el cual será $n = 2$ (Anexo #B) [80].

Datos del material:

- Esfuerzo admisible del material $S_y = 235$ MPa
- $\tau_b = \frac{S_y}{2} = \frac{235 \text{ MPa}}{2} = 117,5$ MPa
- Esfuerzo admisible a la tracción $S_{ut} = 585$ MPa
- $\sigma = \frac{S_{ut}}{2} = \frac{585 \text{ MPa}}{2} = 292,5$ MPa

ñ) Esfuerzo Cortante por Torsión

Para hallar el esfuerzo cortante utilizamos la ecuación de esfuerzo momento torsor 208:

Datos:

- Torque generado por el eje de la Catarina conducida (eje con cuchillas): $T = 35,6$ Nm
- Diámetro del eje: $d = 0,0254$ m

Reemplazando los valores en la ecuación 208:

$$\tau = \frac{16 \times 35,6 \text{ Nm}}{\pi \times (0,0254 \text{ m})^3} = 11064173,01 \text{ Pa} = 11,06 \text{ MPa} \quad (210)$$

o) Esfuerzo por Flexión

El esfuerzo por flexión se calcula utilizando la ecuación 209:

Datos:

- Momento máximo: $M = 20,33$ Nm

Reemplazando los valores en la ecuación 209:

$$\sigma_b = \frac{32 \times 20,33 \text{ Nm}}{\pi \times (0,0254 \text{ m})^3} = 12636777,37 \text{ Pa} = 12,63 \text{ MPa} \quad (211)$$

p) Cálculo de Esfuerzo Cortante Máximo

El esfuerzo cortante máximo se calcula utilizando la ecuación 207:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{(12,63 \text{ MPa})^2 + 4 \times (11,06 \text{ MPa})^2} = 12,73 \text{ MPa} \quad (212)$$

Cálculo de τ_e

Procedemos a hallar τ_e utilizando la siguiente ecuación:

$$\tau_e = \sqrt{M^2 + T^2} \quad (213)$$

Datos:

- $M = 20,33$ Nm

- $T = 35,6 \text{ Nm}$

Reemplazando los valores:

$$\tau_e = \sqrt{(20,33 \text{ Nm})^2 + (35,6 \text{ Nm})^2} = 40,99 \text{ Nm} \approx 41 \text{ Nm} \quad (214)$$

q) Diámetro Mínimo del Eje sometido a Torsión

Para hallar el diámetro mínimo que soportará la carga de torsión, utilizamos la siguiente ecuación:

$$D_{min} = \sqrt[3]{\frac{\tau_e \times 16}{\pi \times \tau_b}} \quad (215)$$

Reemplazando los valores:

$$D_{min} = \sqrt[3]{\frac{41 \times 16}{\pi \times 117,5 \times 10^6}} = 0,0121 \text{ m} \approx 12,11 \text{ mm} \quad (216)$$

r) Análisis de Flexión

Para el cálculo del diámetro mínimo a flexión, utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$M_e = \frac{1}{2} \left(M + \sqrt{M^2 + T^2} \right) \quad (217)$$

$$D_{min} = \sqrt[3]{\frac{M_e \times 32}{\pi \times \sigma_b}} \quad (218)$$

Reemplazamos primero M_e para poder utilizarlo en la ecuación de D_{min} :

$$M_e = \frac{1}{2} \left(20,33 \text{ Nm} + \sqrt{(20,33 \text{ Nm})^2 + (35,6 \text{ Nm})^2} \right) = 30,66 \text{ Nm} \quad (219)$$

Reemplazamos los valores en la ecuación de D_{min} :

$$D_{min} = \sqrt[3]{\frac{30,66 \times 32}{\pi \times 292,5 \times 10^6}} = 0,01022 \text{ m} \approx 10,22 \text{ mm} \quad (220)$$

VI-H. Simulación del eje

En la simulación en la figura 53 de análisis estático realizado al eje evaluamos las tensiones y desplazamientos que se producen en él. Las flechas indican las fuerzas aplicadas, mientras que los puntos de fijación remarcan las chumaceras donde estarán ingresados los dos extremos del eje.

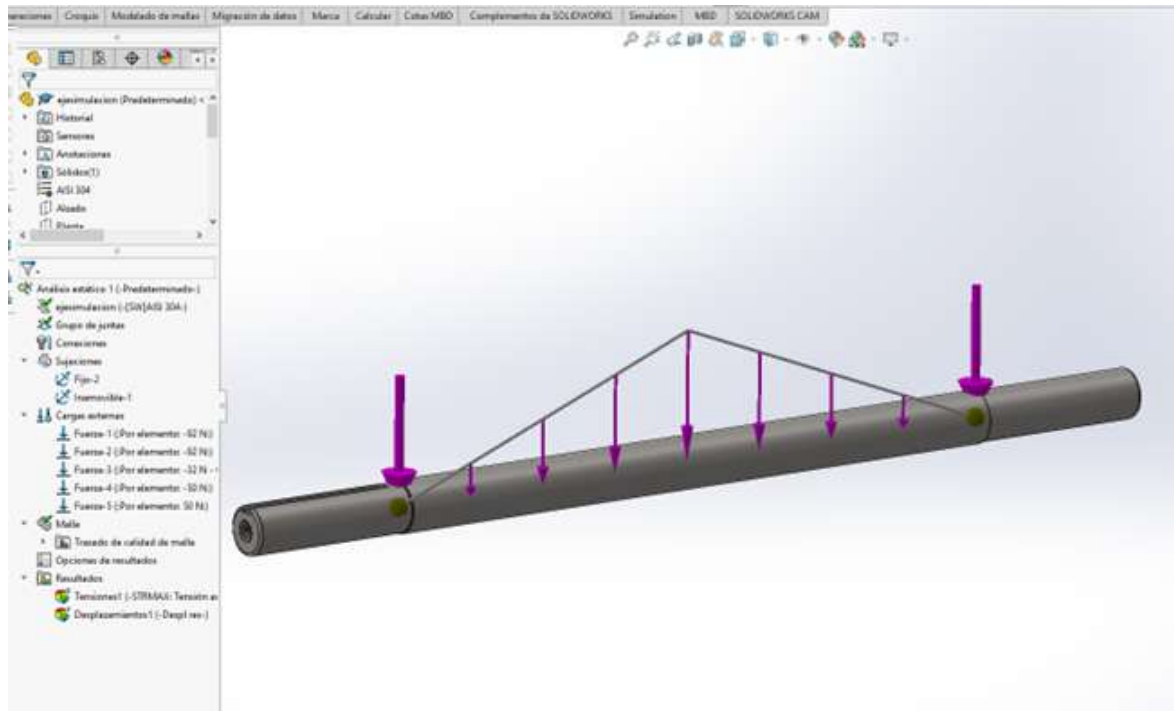


Figura 53. Simulación del eje - fuerzas aplicadas. Fuente: Los autores.

Esta simulación en la figura 54 es la continuación de la imagen anterior, donde podemos determinar como se comportará el eje al momento de ser sometido a cargas aplicadas. Podemos notar que en esta simulación el eje se curva lo que nos indica que hay una flexión notable en la estructura.

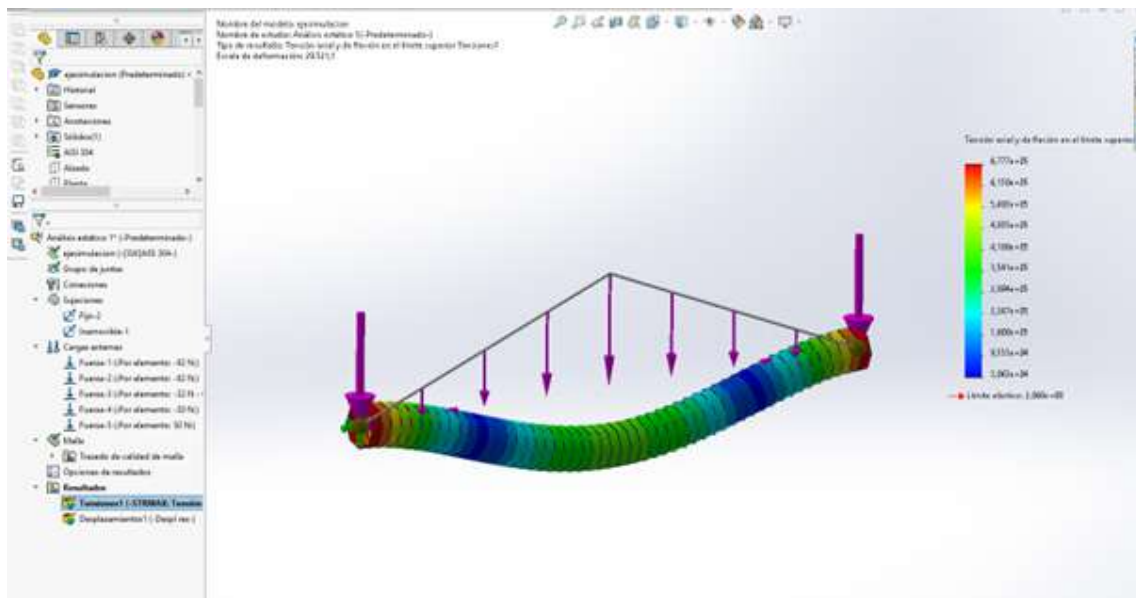


Figura 54. Análisis de fuerzas externas en el eje. Fuente: Los autores.

Al igual que la mesa de soporte, aquí realizamos un análisis del factor de seguridad. Como se demuestra en base a la escala de colores, toda la estructura esta marcada en rojo lo que significa que en todas las áreas

del eje esta en su valor mínimo de 2. Esto sugiere que, bajo las cargas que le estamos aplicando, el eje esta trabajando cerca de su capacidad limite. A continuación en la figura 55 se observa el factor de seguridad empleado.

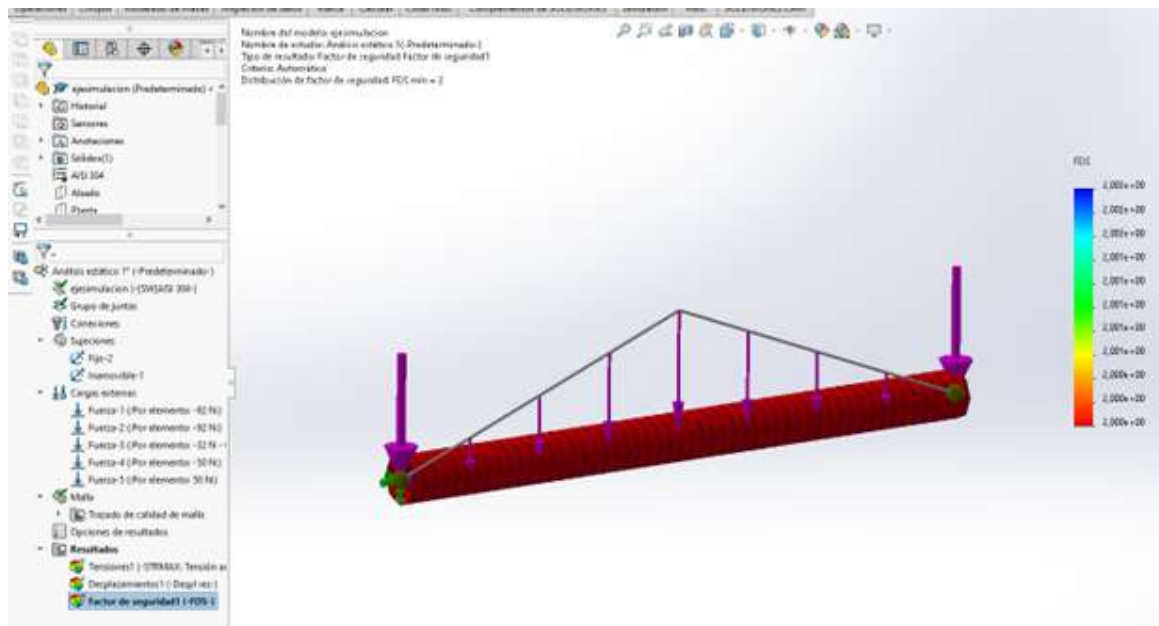


Figura 55. Factor de seguridad del eje. Fuente: Los autores.

VI-I. Selección de Chumaceras

Como datos tomamos la velocidad a la cual el eje de cuchillas girará, que será de 150 RPM, así como también la carga a la cual estará sometido el eje.

Datos:

- $V_c = 150$ RPM
- $P = 813,34$ N
- Diámetro del eje = 25,4 mm

Carga Estática:

Para nuestro cálculo, escogeremos un coeficiente de fiabilidad del 90 %.

En la figura 56 se elige el coeficiente de fiabilidad de nuestra chumacera acorde al porcentaje propuesto.

| Fiabilidad | L_n | Coefficiente de fiabilidad α_1 |
|------------|----------|---------------------------------------|
| 90% | L_{10} | 1,00 |
| 95% | L_5 | 0,62 |
| 96% | L_4 | 0,53 |
| 97% | L_3 | 0,44 |
| 98% | L_2 | 0,33 |
| 99% | L_1 | 0,21 |

Figura 56. Coeficiente de fiabilidad [88]

Cálculo de C_o y P_o :

- Coeficiente de seguridad $F_s = \frac{C_o}{P_o}$
- P_o = Carga estática equivalente
- C_o = Carga estática

En la figura 57 se elige el valor de factor de seguridad.

| Condiciones de funcionamiento | Aplicaciones típicas | f_w |
|---|--|---------|
| Funcionamiento suave libre de impactos | Motores eléctricos, máquinas herramienta, acondicionadores de aire | 1.0~1.2 |
| Funcionamiento normal | Ventiladores, compresores, ascensores, grúas, máquinas para fabricación de papel | 1.2~1.5 |
| Funcionamiento acompañado de impactos y vibraciones | Maquinaria para la construcción, trituradoras, cribas, Trenes de laminación | 1.5~3 |

Figura 57. Valores de factor de seguridad [89]

Para la elección de nuestras chumaceras, se tomará el valor de $F_s = 1,5$, el cual pertenece a rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto.

$$C_o = F_s \times P_o \quad (221)$$

Reemplazando:

$$C_o = (1,5) \times (813,34\text{N}) = 1220\text{N} \quad (222)$$

En la figura 58 se elige la chumacera que se adapta a nuestras propuestas planteadas.

| Diám. Eje mm pulgadas | Designación soporte(1) | Dimensiones nominales | | | | | | | | | | Tamaño tornillo mm pulgadas | Número de rodamiento |
|--------------------------------------|---|-----------------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-------------|---------------|----------------|----------------|---------------|--|---|
| | | mm pulgadas | | | | | | | | | | | |
| | | H | J | A ₂ | A ₁ | A | N | L | A ₀ | B | S | | |
| 12 1/2 | UCFL201D1 UCFL201-008D1 | 113 47/16 | 90 335/64 | 15 19/32 | 11 7/16 | 25.5 1 | 12 15/32 | 60 23/8 | 33.3 15/16 | 31 1.2205 | 12.7 0.500 | M10 3/8 | UC201D1 UC201-008D1 |
| 15 9/16 5/8 | UCFL202D1 UCFL202-009D1 UCFL202-010D1 | 113 47/16 | 90 335/64 | 15 19/32 | 11 7/16 | 25.5 1 | 12 15/32 | 60 23/8 | 33.3 15/16 | 31 1.2205 | 12.7 0.500 | M10 3/8 | UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1 |
| 17 11/16 | UCFL203D1 UCFL203-011D1 | 113 47/16 | 90 335/64 | 15 19/32 | 11 7/16 | 25.5 1 | 12 15/32 | 60 23/8 | 33.3 15/16 | 31 1.2205 | 12.7 0.500 | M10 3/8 | UC203D1 UC203-011D1 |
| 20 3/4 | UCFL204D1 UCFL204-012D1 | 113 47/16 | 90 335/64 | 15 19/32 | 11 7/16 | 25.5 1 | 12 15/32 | 60 23/8 | 33.3 15/16 | 31 1.2205 | 12.7 0.500 | M10 3/8 | UC204D1 UC204-012D1 |
| 25 13/16 7/8 15/16 1 | UCFL205D1 UCFL205-013D1 UCFL205-014D1 UCFL205-015D1 UCFL205-100D1 | 130 51/8 | 99 357/64 | 16 5/8 | 13 1/2 | 27 11/16 | 16 5/8 | 68 211/16 | 35.8 113/32 | 34.1 1.3425 | 14.3 0.563 | M14 1/2 | UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1 UC205-100D1 |
| 30 11/16 11/8 13/16 11/4 | UCFL206D1 UCFL206-101D1 UCFL206-102D1 UCFL206-103D1 UCFL206-104D1 | 148 513/16 | 117 439/64 | 18 45/64 | 13 1/2 | 31 17/32 | 16 5/8 | 80 35/32 | 40.2 137/64 | 38.1 1.5000 | 15.9 0.626 | M14 1/2 | UC206D1 UC206-101D1 UC206-102D1 UC206-103D1 UC206-104D1 |
| 35 11/4 15/16 13/8 17/16 | UCFL207D1 UCFL207-104D1 UCFL207-105D1 UCFL207-106D1 UCFL207-107D1 | 161 611/32 | 130 51/8 | 19 3/4 | 15 19/32 | 34 111/32 | 16 5/8 | 90 317/32 | 44.4 13/4 | 42.9 1.6890 | 17.5 0.689 | M14 1/2 | UC207D1 UC207-104D1 UC207-105D1 UC207-106D1 UC207-107D1 |
| 40 11/2 19/16 | UCFL208D1 UCFL208-108D1 UCFL208-109D1 | 175 67/8 | 144 543/64 | 21 53/64 | 15 19/32 | 36 113/32 | 16 5/8 | 100 315/16 | 51.2 21/64 | 49.2 1.9370 | 19 0.748 | M14 1/2 | UC208D1 UC208-108D1 UC208-109D1 |
| 45 15/8 111/16 13/4 | UCFL209D1 UCFL209-110D1 UCFL209-111D1 UCFL209-112D1 | 188 713/32 | 148 553/64 | 22 55/64 | 16 5/8 | 38 11/2 | 19 3/4 | 108 41/4 | 52.2 21/16 | 49.2 1.9370 | 19 0.748 | M16 5/8 | UC209D1 UC209-110D1 UC209-111D1 UC209-112D1 |

Figura 58. Características de las chumaceras y rodamientos [89]

Para la selección del cojinete, procedimos a buscar en el catálogo general de rodamientos NSK cuál es el tipo que necesitamos en base a nuestro diámetro de 25.4 mm.

En la figura 59 se puede observar el rendimiento de la chumacera que se adapta a nuestras propuestas ya planteadas.

| Medidas principales y datos de rendimiento | | |
|--|----------|-------------------------------------|
| d | 25 mm | Diámetro del agujero |
| L | 68 mm | Anchura de la brida |
| H | 130 mm | Altura de brida |
| U | 35,8 mm | Altura total de la unidad |
| C_r | 14.000 N | Capacidad de carga dinámica, radial |
| C_{0r} | 7.800 N | Capacidad de carga estática, radial |
| C_{ur} | 335 N | Límite de carga por fatiga, radial |
| m | 0,673 kg | Peso |

Figura 59. Características de las chumaceras y rodamientos [90]

a) Selección de Chumacera

La selección de la chumacera será una UCFL-205, ya que en base a la tabla proporcionada podemos verificar que aguantará la carga estática de nuestro eje, la cual es de 1220 N, mientras que la capacidad máxima de esta es de 7800 N, demostrando que es más que suficiente para nuestra aplicación.

b) Vida Nominal Básica del Rodamiento

La vida nominal del rodamiento se refiere al tiempo de servicio esperado o al número de revoluciones que un rodamiento puede realizar bajo condiciones específicas de carga y velocidad antes que se empiecen a presentar síntomas de fatiga del material.

En la figura 60 se puede observar el rendimiento de la chumacera que se adapta a nuestras propuestas ya planteadas.

| Tipo de aplicación | Vida, kh |
|--|-----------|
| Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente | Hasta 0.5 |
| Motores de aeronaves | 0.5-2 |
| Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia | 4-8 |
| Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia | 8-14 |
| Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente | 14-20 |
| Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente | 20-30 |
| Máquinas para servicio continuo las 24 h | 50-60 |
| Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia | 100-200 |

Figura 60. Vida útil de cojinetes en base a diferentes aplicaciones [83]

c) Cálculo de la Vida Nominal Básica

La vida útil se puede calcular con diferentes fórmulas dependiendo del fabricante. Para nuestra aplicación, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times n} \times L_{10} \quad (223)$$

donde:

- L_{10} = Vida nominal básica con una confiabilidad de 90
- L_{10h} = Vida nominal básica con una confiabilidad del 90
- n = Velocidad de giro (RPM)

Reemplazando:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times 150} \times 15000 = 1666666,67 \text{ Horas} \quad (224)$$

Por lo tanto, la vida nominal básica del rodamiento es de aproximadamente 1,666,666,67 horas.

VI-J. Cálculo de la Superficie de filtrado

En esta parte se lleva a cabo el cálculo para establecer los valores correspondientes a la superficie de filtrado, lo cual indica el tamaño mínimo requerido de la superficie de filtrado para colocar el tamiz.

Datos Iniciales

- Tonelada a filtrar $T = 0.00450$ Ton/Hora.
- Diámetro de paso del tamiz = 10 mm.
- Densidad del vidrio = 1.45 T/m^3 .

a) Cálculo de la Superficie de filtrado

Para elegir el valor correspondiente a la cantidad determinada o básica, se emplean los valores de referencia presentados en la figura 61 de capacidad básica [91].

| CAPACIDAD BÁSICA B | | | |
|--------------------|----------|-----------|---------|
| Luz de malla mm | Material | | |
| | Carbon | Triturado | Natural |
| 0.50 | 2.0 | 2.7 | 3.5 |
| 0.80 | 2.6 | 3.4 | 4.4 |
| 1.00 | 2.8 | 3.7 | 4.9 |
| 1.25 | 3.1 | 4.1 | 5.5 |
| 2.0 | 4.0 | 5.3 | 7.1 |
| 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.5 |
| 5.6 | 7.5 | 10.0 | 13.0 |
| 6.3 | 8.1 | 10.8 | 14.0 |
| 8.0 | 9.4 | 12.5 | 16.0 |
| 10.0 | 10.8 | 14.4 | 18.6 |
| 12.5 | 12.5 | 16.6 | 21.5 |
| 16.0 | 14.3 | 19.0 | 25.1 |
| 20.0 | 16.5 | 22.0 | 29.0 |
| 25.0 | 19.5 | 26.0 | 33.4 |
| 31.5 | 22.5 | 30.0 | 37.9 |
| 40.0 | 26.0 | 34.7 | 42.5 |
| 50.0 | 29.3 | 39.0 | 47.4 |
| 63.0 | 33.0 | 44.0 | 52.0 |
| 80.0 | 36.8 | 49.0 | 57.0 |
| 100.0 | 42.0 | 56.0 | 63.0 |
| 120.0 | 47.3 | 63.0 | 68.0 |

Figura 61. Capacidad básica del material [91]

En cuanto al tamaño de la luz de malla, que se refiere al tamaño de las aberturas de la malla o criba, se recomienda un valor de 10 mm, considerando que el vidrio es triturado. La ecuación a utilizar es:

$$S = \frac{T}{B \times F_t} \quad (225)$$

Donde:

- S : Superficie de filtrado.
- T : Tonelada a filtrar.
- B : Capacidad determinada o básica.
- F_t : Factor máximo de rectificación de la capacidad básica.

La constante de capacidad determinada o básica es la siguiente:

$$B = 14,4 \frac{T}{(m^2 \times h)} \quad (226)$$

b) Cálculo del Factor Máximo de rectificación F_t

Ahora procederemos a hallar F_t con los diferentes factores correspondientes. La ecuación para hallar F_t es la siguiente:

$$F_t = F_d \times F_r \times F_s \times F_e \times F_h \times F_m \times F_i \times F_p \times F_o \quad (227)$$

Para una densidad del vidrio de $1,45 \text{ T/m}^3$:

$$\text{Para una densidad del vidrio de } 1,45 \frac{\text{T}}{\text{m}^3} \quad (228)$$

$$\text{densidad de } 1,6 \frac{\text{T}}{\text{m}^3} \quad (229)$$

$$F_d = \frac{pa}{1,6} \quad (230)$$

$$F_d = \frac{1,45}{1,6} \quad (231)$$

$$F_d = 0,9 \quad (232)$$

- $F_d = 0,9$.

Asumiendo un rechazo del 15 %:

se usan los valores referenciales presentados en la figura 62 de factor de rechazo [91].

| FACTOR DE RECHAZO | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| Factor Fr | 1.10 | 1.08 | 1.06 | 1.04 | 1.02 | 1.00 | 0.98 | 0.96 | 0.94 | 0.92 |

Figura 62. Factor de rechazo [91]

- $F_r = 1,04$.

Usando un 35 % de fragmentos que muestran tamaño reducido:

se usan los valores referenciales presentados en la figura 63 de factor de semitamaño [91].

| FACTOR DE SEMITAMAÑO | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Semitamaño | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| Factor Fs | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.72 | 0.77 | 0.85 | 0.92 | 1.00 | 1.10 |
| Semitamaño | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| Factor Fs | 1.20 | 1.30 | 1.45 | 1.60 | 1.75 | 1.95 | 2.20 | 2.55 | 3.00 | 3.65 |

Figura 63. Factor de semitamaño [91]

- $F_s = 0,92$.

Para una eficiencia proyectada en nuestra matriz de objetivos de 85 %:

se usan los valores referenciales presentados en la figura 64 de factor de eficiencia [91].

| FACTOR DE EFICIENCIA | | | | | | | |
|----------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| E | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 85 | 80 |
| Factor Fe | 0,6 | 0.85 | 1.00 | 1.05 | 1.12 | 1.26 | 1.41 |

Figura 64. Factor de eficiencia [91]

- $F_e = 1,26$.

Los valores de la capacidad básica se han determinado considerando un filtrado en seco o con un porcentaje de humedad menor al 3. Sin embargo, los productos de alimentación generalmente contienen algo de humedad, y en ocasiones, una humedad excesiva superior al 9 % puede dificultar el proceso de

cribado, ocasionando el "cegado" de las mallas, lo que hace necesario realizar el cribado en húmedo. Cada producto tiene una humedad crítica específica, pero de manera general se puede aplicar el siguiente factor de corrección. Pero es muy importante recalcar que, si la humedad es superior al 9%, no es posible realizar el cribado en seco.

$$\text{En el caso de } 9\% \cdot h \leq 6\% \cdot h \Rightarrow F_h = 0,75$$

$$\text{En el caso de } 6\% \cdot h \leq 3\% \cdot h \Rightarrow F_h = 0,85$$

$$\text{En el caso de } 3\% \cdot h \Rightarrow F_h = 1,00$$

- $F_h = 1,00$.

Utilizaremos una malla de forma cuadrada, por lo tanto:

- $F_m = 1$.

La malla está en una forma horizontal, entonces:

- $F_i = 0,83$.

Debido a que solo contaremos con una sola malla y no diferentes capas, nuestro valor de F_p será:

- $F_p = 1$.

Debido a las recomendaciones del material para la creación de la malla, la cual será de un alambre de tipo medio que tenga un área libre de paso del 55%, el valor de F_o es:

se usan los valores referenciales presentados en la figura 65 de factor de área libre de paso [91].

| FACTOR DE AREA LIBRE DE PASO | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Superficie Libre % | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 |
| Factor Fo | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.20 | 1.40 |

Figura 65. Factor de área libre de paso [91]

- $F_o = 1,10$.

Ahora, reemplazamos todos nuestros valores de factor de corrección en la ecuación de F_t y obtenemos:

$$F_t = 0,9 \times 1,04 \times 0,92 \times 1,26 \times 1 \times 1 \times 0,83 \times 1 \times 1,10 = 0,990 \quad (233)$$

Reemplazamos en la ecuación de S y obtenemos:

$$S = \frac{0,00450 \text{ Ton/H}}{(14,4 \frac{\text{T}}{\text{m}^2 \times \text{h}}) \times 0,990} = 3,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (234)$$

c) Cálculo de las Dimensiones del tamiz

Una vez obtenido el valor de S , se procederá a calcular las proporciones de base y largo del filtro en función de la superficie calculada, utilizando las siguientes ecuaciones. La base del tamiz se determinará de la siguiente manera:

$$A_c = 1000 \times \left(\frac{S}{2,5} \right)^{0,5} \quad (235)$$

Reemplazamos con nuestros datos y obtenemos:

$$A_c = 1000 \times \left(\frac{3,15 \times 10^{-4}}{2,5} \right)^{0,5} = 11,22 \text{ m}^2 \quad (236)$$

Ahora obtenemos el largo con la siguiente ecuación:

$$L_c = 2,5 \times A_c \quad (237)$$

Reemplazamos con nuestros datos:

$$L_c = 2,5 \times 11,22 \text{ m}^2 = 28,06 \text{ m}^2 \quad (238)$$

VI-K. Selección de Pernos

Utilizando la tabla de la figura 66 [83]. Determinamos que utilizaremos pernos grado SAE 8, los cuales recomiendan diámetros entre 1/4 y 1 1/2 pulgadas.









| Grado SAE núm. | Intervalo de tamaños, inclusive, pulg | Resistencia de prueba mínima,* kpsi | Resistencia mínima a la tensión,* kpsi | Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi | Material | Marca en la cabeza |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|---|
| 1 | 1/4-1 1/2 | 33 | 60 | 36 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 2 | 1/4-3/4 7/8-1 1/2 | 55 | 74 | 57 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| | | 33 | 60 | 36 | | |
| 4 | 1/4-1 1/2 | 65 | 115 | 100 | Acero de medio carbono, estirado en frío |  |
| 5 | 1/2-1 1 1/8-1 1/2 | 85 | 120 | 92 | Acero de medio carbono, T y R |  |
| | | 74 | 105 | 81 | | |
| 5.2 | 1/2-1 | 85 | 120 | 92 | Acero martensítico de bajo carbono, T y R |  |
| 7 | 1/4-1 1/2 | 105 | 133 | 115 | Acero de aleación de medio carbono, T y R |  |
| 8 | 1/4-1 1/2 | 120 | 150 | 130 | Acero de aleación de medio carbono T y R |  |
| 8.2 | 1/2-1 | 120 | 150 | 130 | Acero martensítico de bajo carbono, T y R |  |

Figura 66. Especificación SAE para pernos [83]

VI-L. Especificaciones del Perno

Gracias a que escogimos un aprieto mediante pernos tipo Allen, ya que son los que entregan un mayor agarre y son estéticamente mejores, usaremos un perno de 3/8 de pulgada, y el diámetro de la cabeza del perno será igual, con un espesor de la placa de 20 mm. Las condiciones del grado SAE son las siguientes:

- S_p : Resistencia límite máxima a la tensión = 120 Kpsi.
- S_{ut} : Resistencia última a la tensión = 150 Kpsi.
- S_y : Resistencia de fluencia mínima a la tensión = 130 Kpsi.

- E : Módulo de elasticidad = 3×10^6 Psi (207 GPa).

Según la tabla de la figura 66 [83] y rosca UNC, tenemos los siguientes datos:

| Designación de tamaño | Serie gruesa-UNC | | | | Serie fina-UNF | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|-----------------------|---|---|
| | Diámetro mayor nominal pulg | Roscas por pulgada, N | Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ² | Área del diámetro menor A_r , pulg ² | Roscas por pulgada, N | Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ² | Área del diámetro menor A_r , pulg ² |
| 0 | 0.0600 | | | | 80 | 0.001 80 | 0.001 51 |
| 1 | 0.0730 | 64 | 0.002 63 | 0.002 18 | 72 | 0.002 78 | 0.002 37 |
| 2 | 0.0860 | 56 | 0.003 70 | 0.003 10 | 64 | 0.003 94 | 0.003 39 |
| 3 | 0.0990 | 48 | 0.004 87 | 0.004 06 | 56 | 0.005 23 | 0.004 51 |
| 4 | 0.1120 | 40 | 0.006 04 | 0.004 96 | 48 | 0.006 61 | 0.005 66 |
| 5 | 0.1250 | 40 | 0.007 96 | 0.006 72 | 44 | 0.008 80 | 0.007 16 |
| 6 | 0.1380 | 32 | 0.009 09 | 0.007 45 | 40 | 0.010 15 | 0.008 74 |
| 8 | 0.1640 | 32 | 0.014 0 | 0.011 96 | 36 | 0.014 74 | 0.012 85 |
| 10 | 0.1900 | 24 | 0.017 5 | 0.014 50 | 32 | 0.020 0 | 0.017 5 |
| 12 | 0.2160 | 24 | 0.024 2 | 0.020 6 | 28 | 0.025 8 | 0.022 6 |
| 14 | 0.2500 | 20 | 0.031 8 | 0.026 9 | 28 | 0.036 4 | 0.032 6 |
| 16 | 0.3125 | 18 | 0.052 4 | 0.045 4 | 24 | 0.058 0 | 0.052 4 |
| 18 | 0.3750 | 16 | 0.077 5 | 0.067 8 | 24 | 0.087 8 | 0.080 9 |
| 20 | 0.4375 | 14 | 0.106 3 | 0.093 3 | 20 | 0.118 7 | 0.109 0 |
| 22 | 0.5000 | 13 | 0.141 9 | 0.125 7 | 20 | 0.159 9 | 0.148 6 |
| 24 | 0.5625 | 12 | 0.182 | 0.162 | 18 | 0.203 | 0.189 |
| 27 | 0.6250 | 11 | 0.226 | 0.202 | 18 | 0.256 | 0.240 |
| 30 | 0.7500 | 10 | 0.334 | 0.302 | 16 | 0.373 | 0.351 |
| 36 | 0.8750 | 9 | 0.462 | 0.419 | 14 | 0.509 | 0.480 |
| 40 | 1.0000 | 8 | 0.606 | 0.551 | 12 | 0.663 | 0.625 |
| 48 | 1.2500 | 7 | 0.969 | 0.890 | 12 | 1.073 | 1.024 |
| 56 | 1.5000 | 6 | 1.405 | 1.294 | 12 | 1.581 | 1.521 |

Figura 67. Diámetros y Área de pernos [83]

- Área del esfuerzo de tensión (A_t) = $0,0775 \text{ plg}^2 = 49,99 \text{ mm}^2$.
- Área del diámetro menor (A_r) = $0,0678 \text{ plg}^2 = 43,74 \text{ mm}^2$.

VI-M. Cálculo del Área Transversal del Perno

El área transversal del perno se calcula con la siguiente ecuación 239:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (239)$$

Donde el diámetro será $3/8 \text{ plg} = 0,009525 \text{ m}$. Reemplazando en la ecuación:

$$A = \frac{\pi \times (0,009525)^2}{4} = 7,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (240)$$

VI-N. Factor de Rigidez del Perno K_b

El factor de rigidez del perno K_b se calcula utilizando la siguiente ecuación 241:

$$K_b = \frac{A \times E}{L} \quad (241)$$

Donde:

- A : Área transversal.
- E : Módulo de elasticidad.
- L : Longitud del agarre del perno = 0,034835 m.

Reemplazando en la ecuación:

$$K_b = \frac{(7,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2) \times 207 \text{ GPa}}{0,034835 \text{ m}} = 423,09 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (242)$$

VI-Ñ. *Factor de Rigidez del Elemento K_m*

El factor de rigidez K_m se calcula utilizando la siguiente ecuación 243:

$$K_m = \frac{\pi \times E \times D}{2 \ln \left(\frac{5(L+0,5D)}{L+2,5D} \right)} \quad (243)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$K_m = \frac{\pi \times 207 \text{ GPa} \times 0,009525 \text{ m}}{2 \ln \left(\frac{5(0,034835 \text{ m} + 0,5 \times 0,009525 \text{ m})}{0,034835 \text{ m} + 2,5 \times 0,009525 \text{ m}} \right)} = 25455,77 \times 10^6 \text{ N/m} \quad (244)$$

VI-O. *Coficiente de Carga C*

El coeficiente de carga C se calcula utilizando la siguiente ecuación 245:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (245)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$C = \frac{423,09 \times 10^6 \text{ N/m}}{423,09 \times 10^6 \text{ N/m} + 25455,77 \times 10^6 \text{ N/m}} = 0,0163 \quad (246)$$

VI-P. *Cargas de Prueba F_p*

La carga de prueba F_p se calcula utilizando la siguiente ecuación 247:

$$F_p = A_t \times S_p \quad (247)$$

Reemplazando los valores:

$$F_p = 49,99 \text{ mm}^2 \times 827,27 \text{ MPa} = 41355,22 \text{ N} \quad (248)$$

VI-Q. *Pre-carga del Perno F_i*

La pre-carga del perno F_i se calcula utilizando la siguiente ecuación 249:

$$F_i = 0,8 \times F_p \quad (249)$$

Reemplazando los valores:

$$F_i = 0,8 \times 41355,22 \text{ N} = 33084,18 \text{ N} \quad (250)$$

De acuerdo con el libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, se recomienda que el diseño sea aprobado si:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p \quad (251)$$

Reemplazando los valores:

$$0,6 \times 41355,22 \text{ N} \leq 33084,18 \text{ N} \leq 0,9 \times 41355,22 \text{ N} \quad (252)$$

$$24813,13 \text{ N} \leq 33084,18 \text{ N} \leq 37219,69 \text{ N} \quad (253)$$

El factor F_i muestra que el perno escogido es óptimo para el diseño, por lo tanto, resistirá la carga a la tensión.

VI-R. Diseño e implementación del sistema eléctrico de la máquina trituradora

En esta sección, se detalla una breve explicación acerca del cableado y conexiones de los componentes eléctricos que hacen funcionar esta máquina trituradora de vidrio. A esta instalación se le realiza una alimentación total del circuito dirigido al PLC será de 120 VAC, previamente protegida por un disyuntor principal tal y como se muestra en la siguiente figura 68.

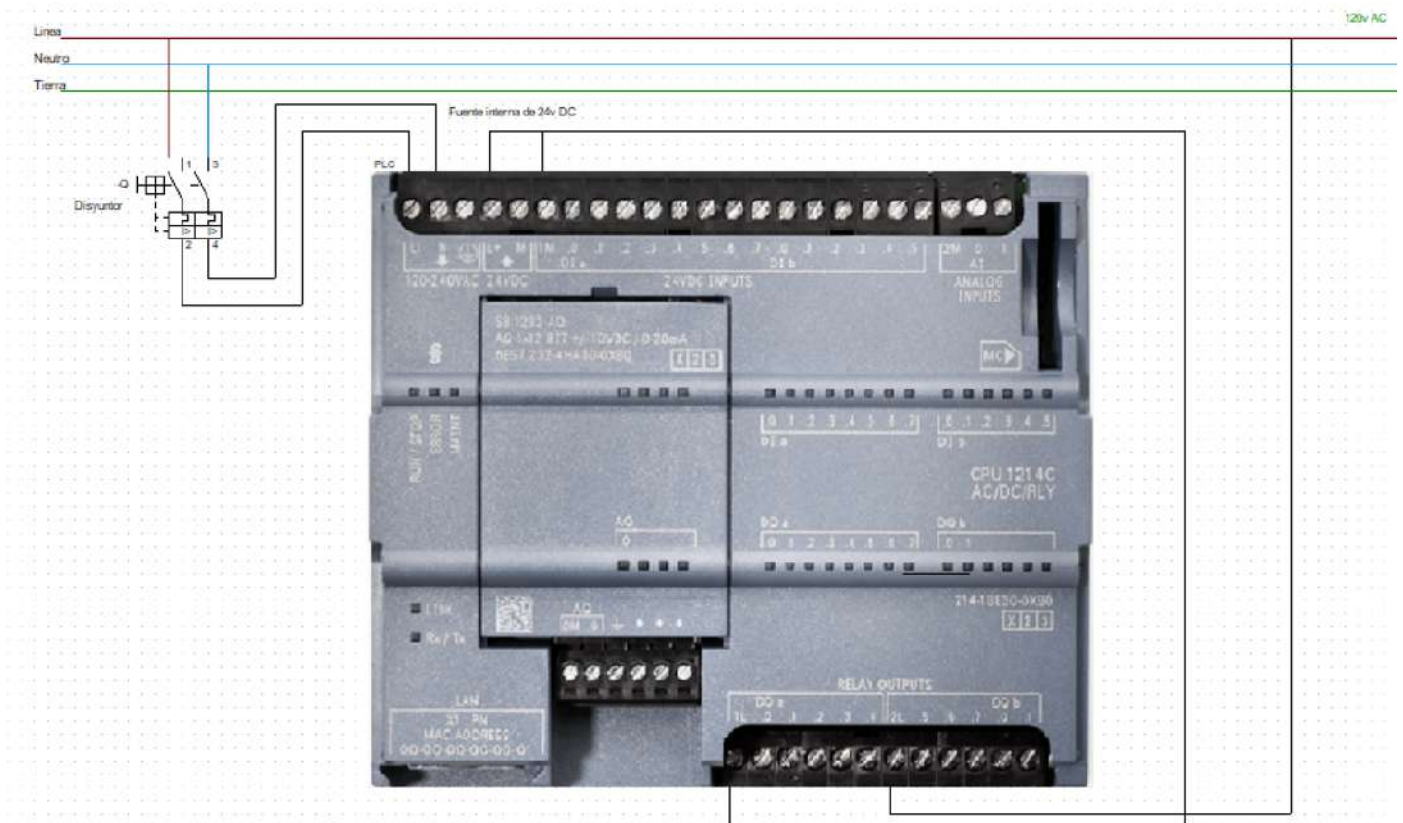


Figura 68. Diagrama eléctrico de 120v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores.

Es fundamental tener en claro que el motor reductor trifásico de 0.75 hp juega un rol esencial en el sistema automatizado. Este motor está vinculado a un variador de frecuencia, cuya función es ajustar tanto la velocidad como el par del motor, adecuando su rendimiento a las necesidades del proceso de trituración. Cabe destacar que la alimentación principal de dicho variador es de 220 VAC. Este equipo no solo regula la velocidad del motor reductor, sino que también mejora de forma notable la eficiencia y precisión de todo el sistema. La conexión adecuada entre estos componentes garantiza un desempeño óptimo y un control eficiente del sistema automatizado, maximizando

el rendimiento en las tareas donde se aplica el motor reductor que es la fuente principal de nuestro sistema, sin él no se trituraría ninguna botella de vidrio. El circuito que se detalla se propone a continuación en la figura 69.

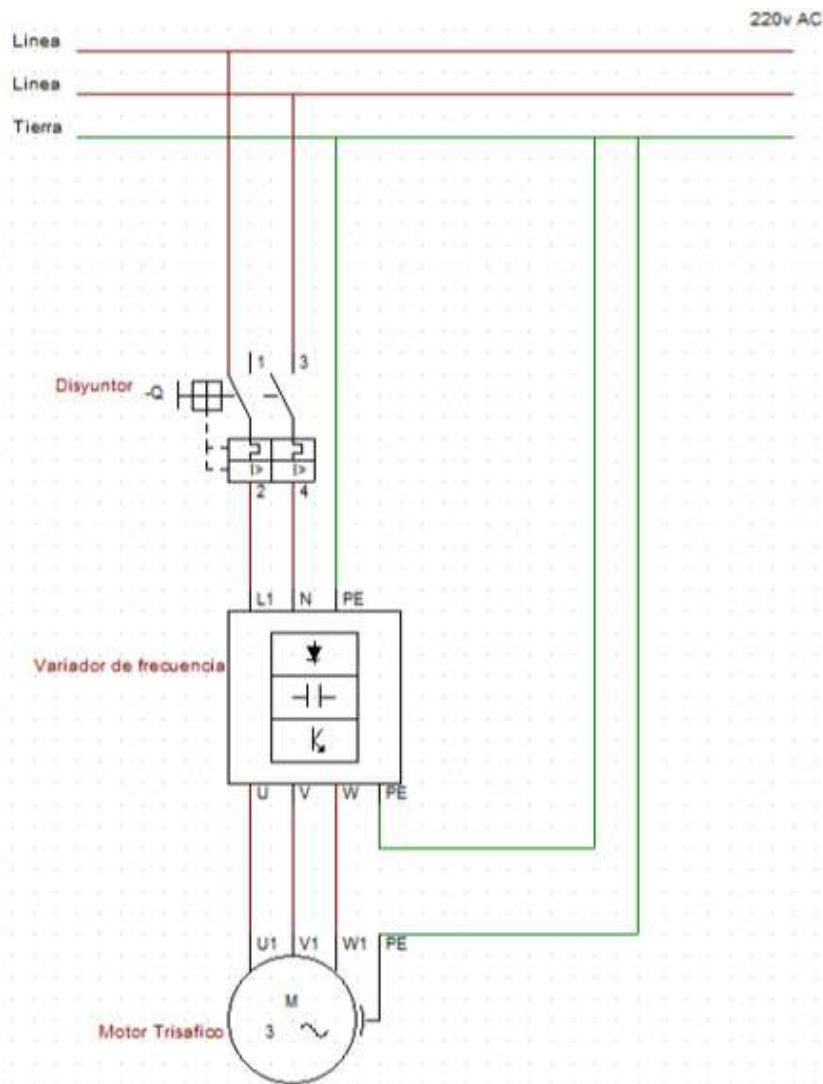


Figura 69. Diagrama eléctrico del motor reductor trifásico de 220v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores.

El diagrama eléctrico ilustra un sistema de control automatizado donde el PLC Siemens S7-1200 ejerce un papel central. Las salidas tipo relé, específicamente X1 y X2, desempeñan un rol fundamental en la gestión de los actuadores del sistema. Al ser energizadas, estas salidas establecen conexiones eléctricas que activan o desactivan dispositivos como el variador de frecuencia y, potencialmente, otros elementos. El variador de frecuencia, controlado por las salidas del PLC, regula la velocidad de un motor eléctrico tal y como se observa en la 69, típicamente asociado a un motor trifásico, monofásico o una bomba. Esta función es esencial para ajustar la velocidad que se desea que trabaje en frecuencia o rpm nuestro motor trifásico. Esta versatilidad permite implementar estrategias de control precisas para diversos procesos industriales. Es decir, las salidas tipo relé, bajo la dirección del PLC, constituyen un elemento clave en la automatización de nuestro proceso de trituración. Como podemos observar en la figura 70. Al establecer conexiones eléctricas estratégicas, estas salidas permiten controlar de manera precisa y eficiente una amplia gama de dispositivos, contribuyendo a la optimización de los procesos productivos.

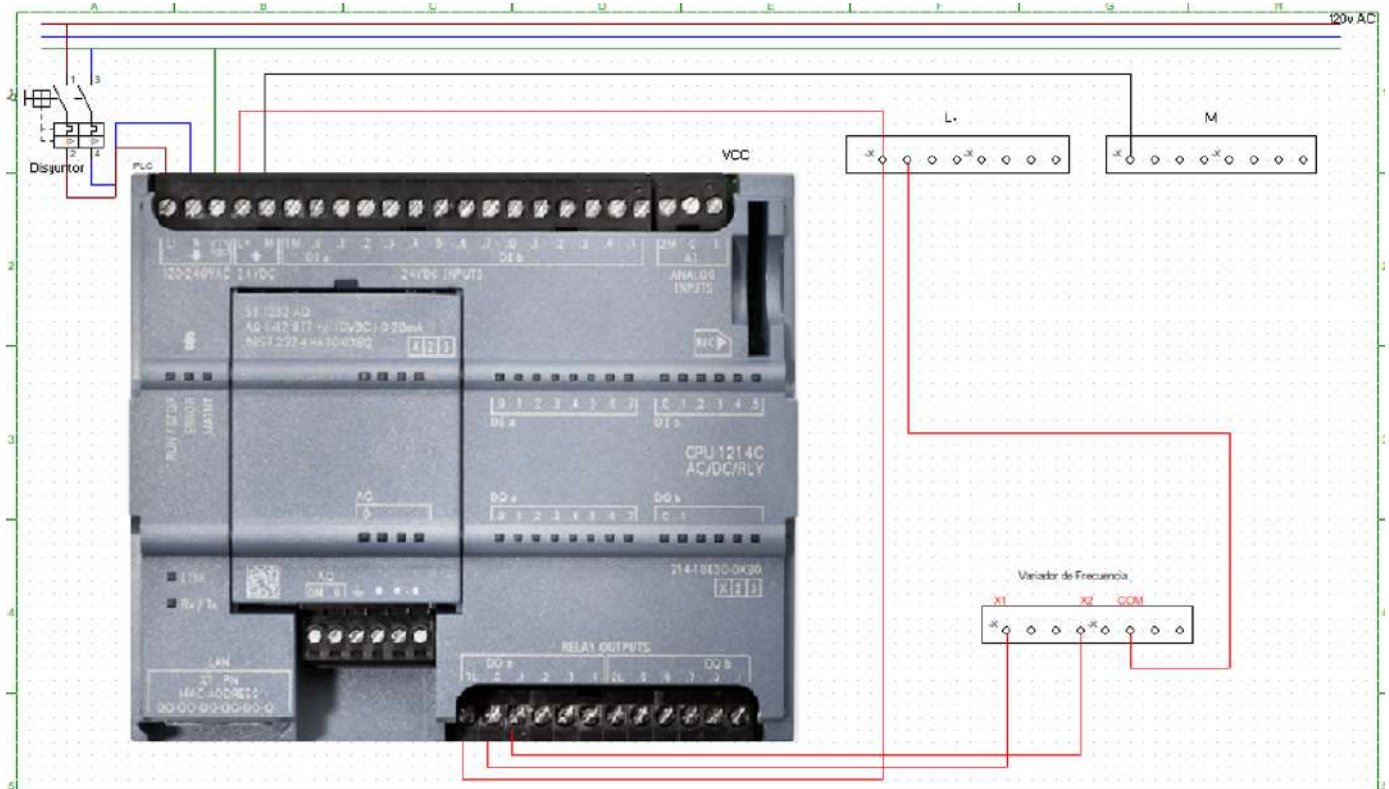


Figura 70. Diagrama de Conexiones de las salidas tipo Relé dentro del proceso. Fuente: Los autores.

El sistema de control automatizado que se plantea, tiene como centro de mando al PLC Siemens S7-1200, que depende en gran medida de sus entradas digitales para su funcionamiento. Estas entradas, al recibir señales binarias provenientes de sensores y dispositivos de control indicando si esta en funcionamiento o no (ON, OFF), proporcionan al PLC datos en tiempo real sobre el progreso del proceso. A través de este flujo de datos, el PLC es capaz de tomar decisiones precisas y ejecutar las acciones necesarias para mantener el proceso bajo control. Un ejemplo de ello es nuestro sensor capacitivo NPN, que al detectar la presencia de las botellas de vidrio, genera una señal que indica al PLC el avance de la botella que ingresará en la línea del proceso. De esta manera, las entradas digitales actúan como la interfaz entre el mundo físico y el sistema de control, permitiendo una interacción dinámica y eficiente tal como se tiene ilustrado en la figura 71.

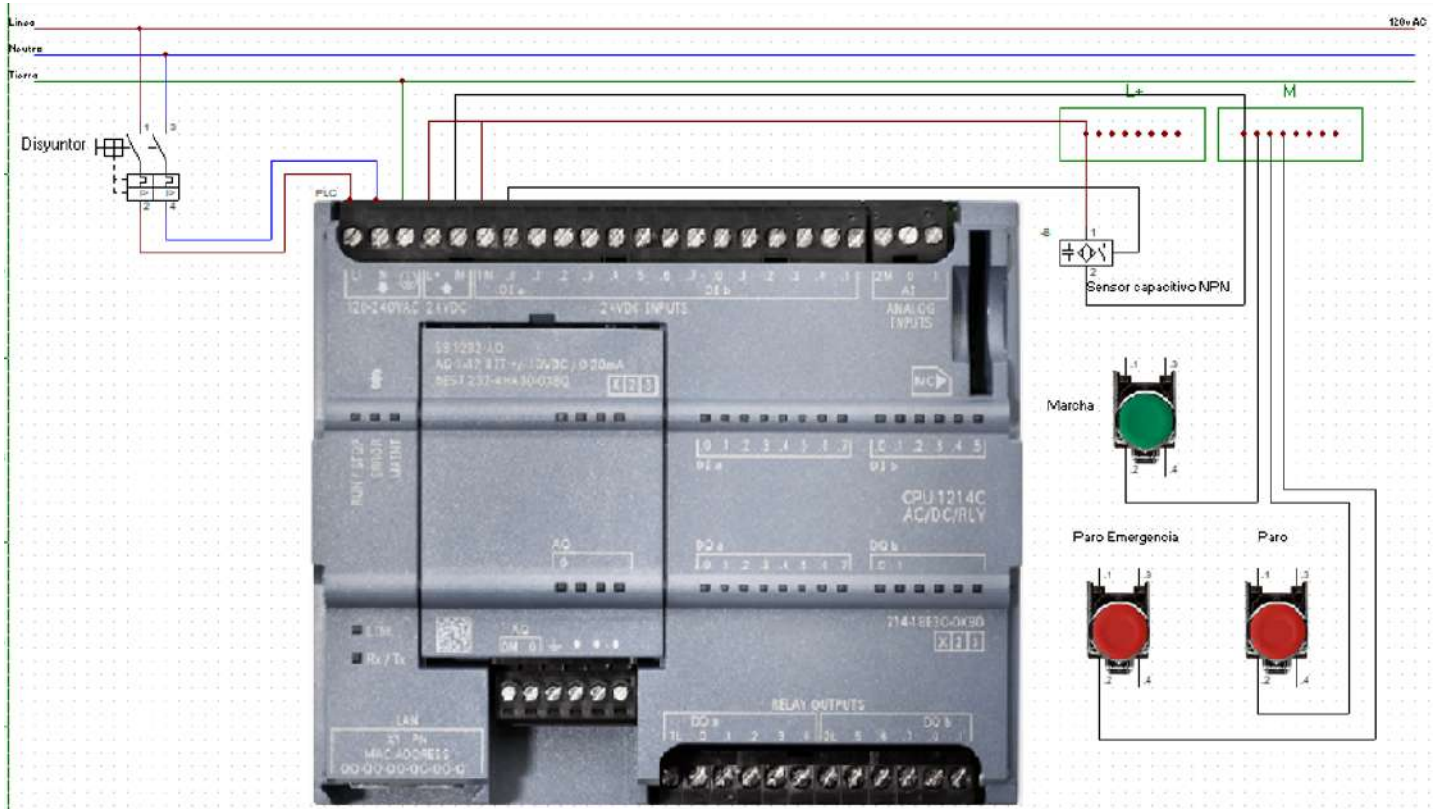


Figura 71. Diagrama de Conexiones de las entradas digitales dentro del proceso. Fuente: Los autores.

La implementación de un sensor de pesaje YZC-133 en un sistema de control automatizado, centrado en un PLC Siemens S7-1200, permite la adquisición de datos precisos sobre las fuerzas aplicadas en un proceso determinado. La señal analógica proveniente del sensor, tras ser acondicionada y amplificada gracias al módulo HX711, es transmitida al PLC para su posterior visualización en el Hmi el peso que se ha triturado en un determinado tiempo o ciclo. El PLC, a través de su capacidad de procesamiento lógico, interpreta la información proporcionada por la celda de carga y ejecuta las acciones necesarias para controlar el proceso. Esta integración de hardware y software permite la implementación de estrategias de control avanzadas, optimizando la eficiencia y la calidad del proceso de trituración. El uso de una placa reductora de voltaje, como la LM2596, garantiza un suministro de energía estable y confiable para los elementos electrónicos del sistema, asegurando así su correcto funcionamiento. Además, la incorporación de un microcontrolador como el Arduino puede ampliar las capacidades del sistema, permitiendo la implementación de algoritmos de filtrado y compensación de errores, lo que mejora la precisión de las mediciones. A continuación en la figura 72 se observa como funcionará el sensor de pesaje junto a la placa reductora.

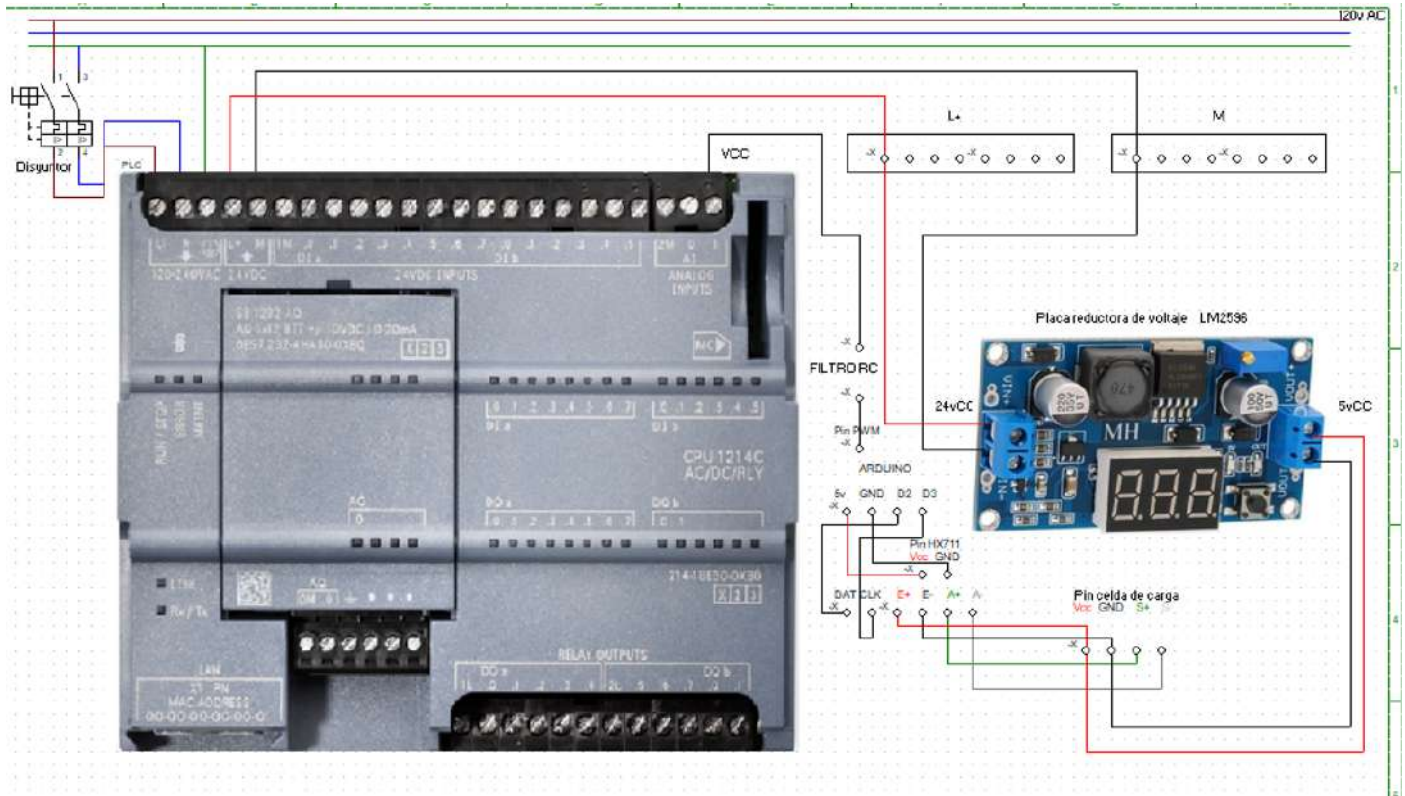


Figura 72. Diagrama eléctrico de 120v AC con protección disyuntor principal. Fuente: Los autores.

VI-S. Programación en lenguaje Ladder direccionado hacia el PLC siemens S7 1200

Antes de empezar con los segmentos de la programación, se determina todas las variables que se usaran en la lógica.

Variables del plc

| Variables PLC | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|------------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Nombre | Tabla de variables | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | |
| 1 | Marcha | Tabla de variabl... | Bool | %M0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 2 | BotonMarcha | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 3 | PROCESO1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 4 | INSPECCION | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 5 | PARO | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 6 | CAPACITIVO | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 7 | BOTELLAS1 | Tabla de variables e.. | Int | %MW10 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 8 | PESAJEEMPIEZA | Tabla de variables e.. | Bool | %M0.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 9 | MOTORON | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 10 | PROCESO2CRIBA | Tabla de variables e.. | Bool | %M0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 11 | PESOINICIAL | Tabla de variables e.. | Word | %MW64 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 12 | PESOFINAL | Tabla de variables e.. | Real | %MD14 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 13 | PESO1R | Tabla de variables e.. | Real | %MD12 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 14 | POTHI | Tabla de variables e.. | Int | %MW12 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 15 | POTNORM | Tabla de variables e.. | Real | %MD15 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 16 | MOTORVAL | Tabla de variables e.. | Real | %MD16 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 17 | ENCIENDEMOTOR | Tabla de variables e.. | Bool | %M0.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 18 | PRENMOT | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 19 | ULTIMOTIMER | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 20 | BLOCK2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 21 | MOTOR | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

Figura 73. Variables 1 de programación ladder. Fuente: Los autores.

| Variables PLC | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|------------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Nombre | Tabla de variables | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | |
| 22 | Paroemergencia | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 23 | pwmon | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 24 | VAL1 | Tabla de variables e.. | Word | %MW20 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 25 | PWMVAL | Tabla de variables e.. | Word | %MW26 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 26 | VAL2 | Tabla de variables e.. | Word | %MW21 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 27 | VAL3 | Tabla de variables e.. | Word | %MW23 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 28 | 400RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 29 | 1000RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 30 | 1400RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.7 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 31 | PWMLOW | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 32 | PWMEDIUM | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 33 | PWMHIGH | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 34 | MOTORVEL | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 35 | RESET1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 36 | RESET2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 37 | RESET3 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 38 | APAGADO | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 39 | AUXILIAR | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 40 | CONTADORLOTE | Tabla de variables e.. | Real | %MD27 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 41 | TIEMPOFINAL | Tabla de variables e.. | Time | %MD30 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 42 | peso1 | Tabla de variables e.. | Real | %MD40 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

Figura 74. Variables 2 de programación ladder. Fuente: Los autores.

| Variables PLC | | | | | | | | |
|---------------|--------------|------------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tabla de variables | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
| 25 | PWMVAL | Tabla de variables e.. | Word | %MW26 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 26 | VAL2 | Tabla de variables e.. | Word | %MW21 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 27 | VAL3 | Tabla de variables e.. | Word | %MW23 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 28 | 400RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 29 | 1000RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 30 | 1400RPM | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.7 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 31 | PWMLOW | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 32 | PWMEDIUM | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 33 | PWMHIGH | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 34 | MOTORVEL | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 35 | RESET1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 36 | RESET2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 37 | RESET3 | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 38 | APAGADO | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 39 | AUXILIAR | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 40 | CONTADORLOTE | Tabla de variables e.. | Real | %MD27 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 41 | TIEMPOFINAL | Tabla de variables e.. | Time | %MD30 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 42 | peso1 | Tabla de variables e.. | Real | %MD40 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 43 | peso2 | Tabla de variables e.. | Real | %MD41 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 44 | peso3 | Tabla de variables e.. | Real | %MD42 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 45 | <Agregar> | | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 75. Variables 3 de programación ladder. Fuente: Los autores.

Con las variables ya determinadas se procede a desglosar por segmentos toda la programación Ladder empezando por el segmento 1.

El segmento #1 realiza la conversión del valor de la entrada analógica a un valor normalizado en el rango de 0 a 1. Posteriormente, este valor se escala al intervalo de 0 a 1400, que corresponde a los RPM del motor, ajustando así la velocidad deseada del mismo.

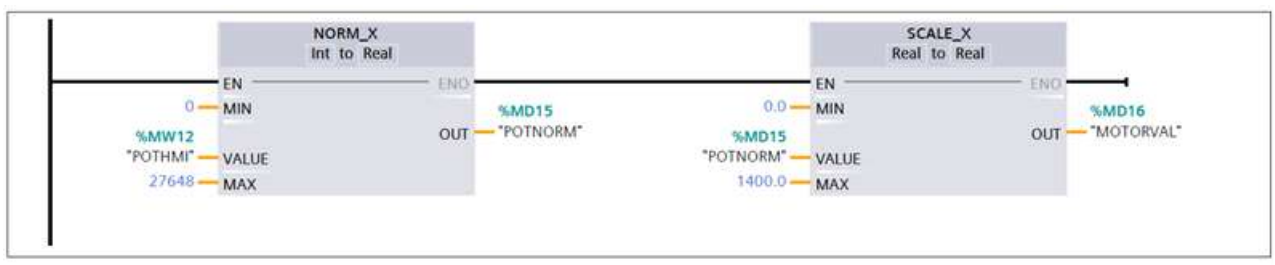


Figura 76. Segmento 1 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #2 establece la lógica para el control de apagado del sistema. Se define dos condiciones para activar la bobina de "APAGADO". La primera condición es que, si se presiona el botón de "PARO" sin que el botón de "MARCHA" este activado, el sistema se apagará. La segunda condición es que, si se presiona el botón de "PARO DE EMERGENCIA" en cualquier momento, el sistema se detendrá inmediatamente.

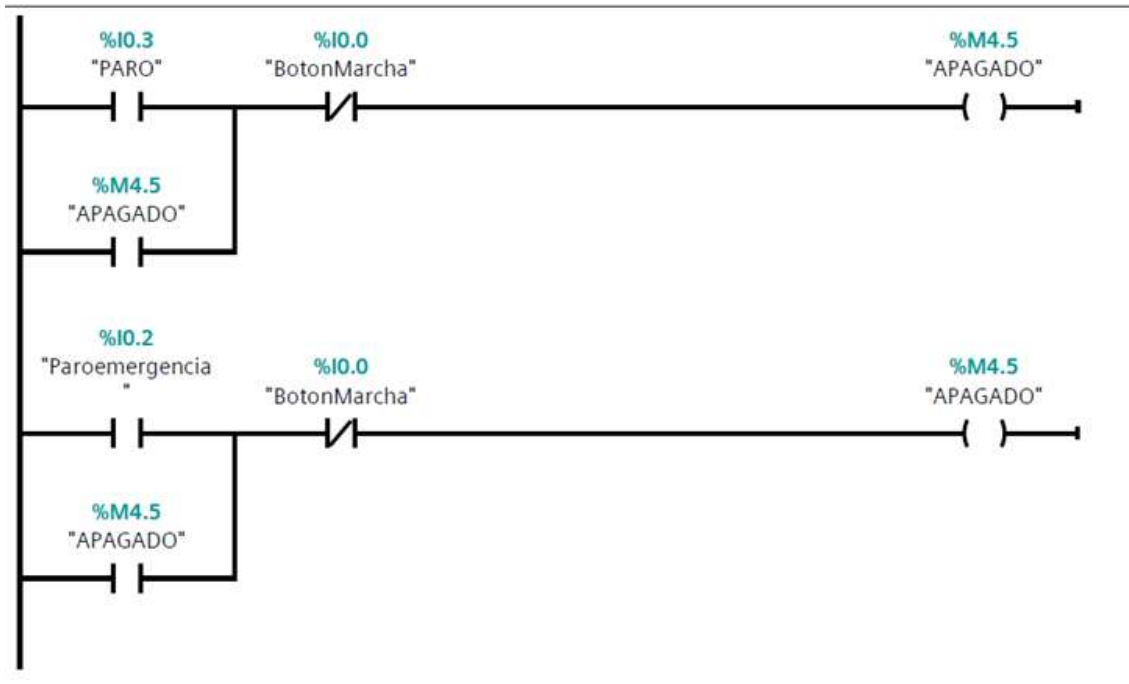


Figura 77. Segmento 2 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #3 diseña la lógica para el estado de "MARCHA" del sistema al presionar su botón correspondiente. Una vez que el estado de "MARCHA" se activa, el contacto de retención se cierra, garantizando que el sistema continúe operando hasta que se active alguna de las condiciones que interrumpan este estado, como el "PARO" o "PARO DE EMERGENCIA".



Figura 78. Segmento 3 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #4 gestiona el inicio y la continuidad del proceso principal, identificado como "PROCESO1". Para que este proceso se inicie, deben cumplirse tres condiciones: el sistema debe estar en estado de "MARCHA", el estado de "INSPECCIÓN" debe estar activado, indicando que la parte de inspección ha sido completada, y el sistema no debe encontrarse en estado de "APAGADO". Una vez iniciado el proceso, el contacto de retención "PROCESO1" se cierra, asegurando que el proceso continúe en funcionamiento hasta que se active alguna condición que lo detenga.

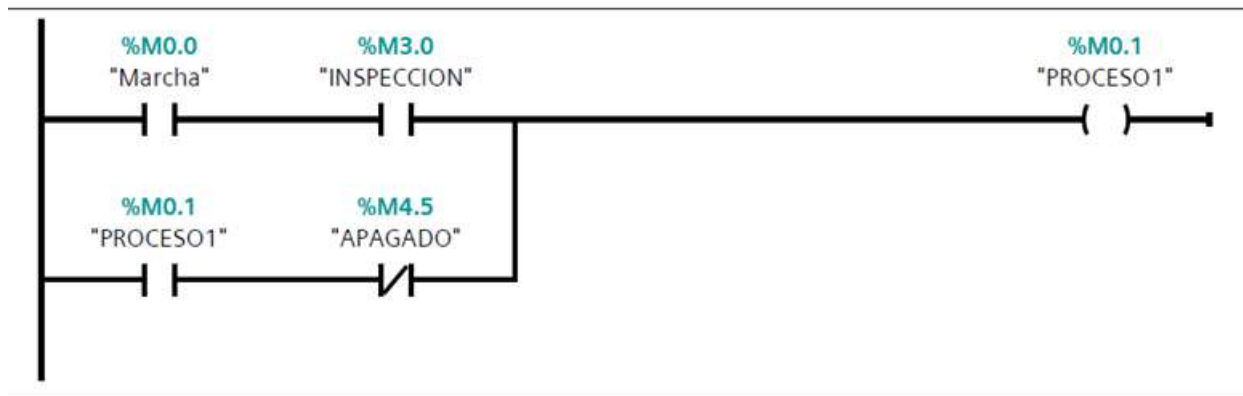


Figura 79. Segmento 4 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #5 controla el encendido del motor mediante un temporizador, que espera 5 segundos tras la activación del sensor capacitivo, el cual detecta la presencia de una botella. Las condiciones necesarias para activar el temporizador son que el sistema no debe estar en estado de "APAGADO", el sensor capacitivo debe haber detectado una botella, cerrando así el contacto y activando el temporizador, y el estado de "PARO DE EMERGENCIA" no debe estar activo. Si todas estas condiciones se cumplen y el temporizador alcanza los 5 segundos, se activa la bobina "PRENMOT", lo que enciende el motor para iniciar la preparación para la trituración.

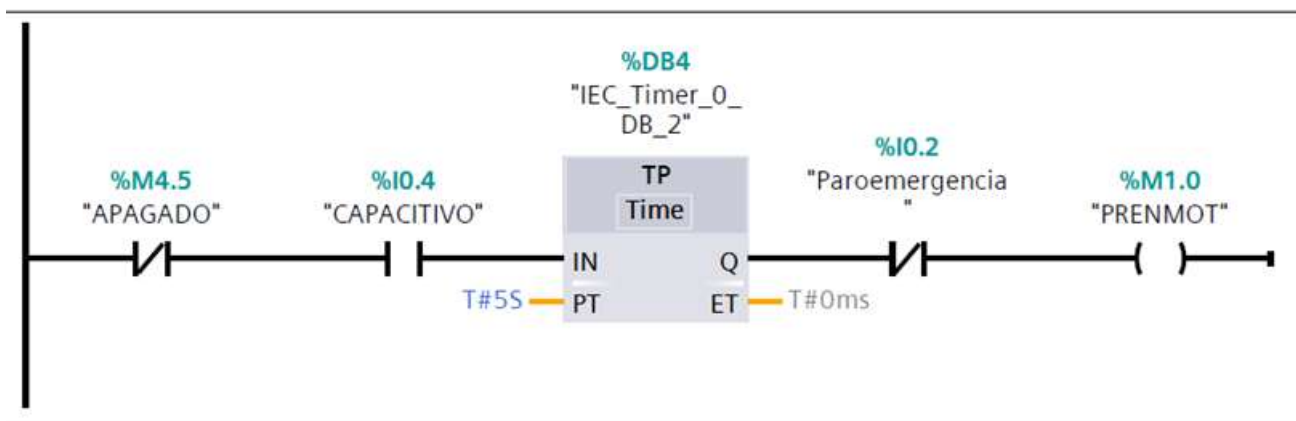


Figura 80. Segmento 5 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #6 diseña el proceso para contar la cantidad de botellas que ingresan a la trituradora y activar una acción cuando se haya alcanzado el límite predefinido de 3 botellas por lote. El sistema contabiliza una botella solo si el estado de "PROCESO1" está en marcha, el sensor capacitivo detecta la presencia de una botella, y el estado de "BOTÓN MARCHA" está activado, lo que indica que el sistema está operativo. Una vez que se alcanza el límite de 3 botellas, el bloque contador "%DB1" llega al valor establecido y activa su salida correspondiente.

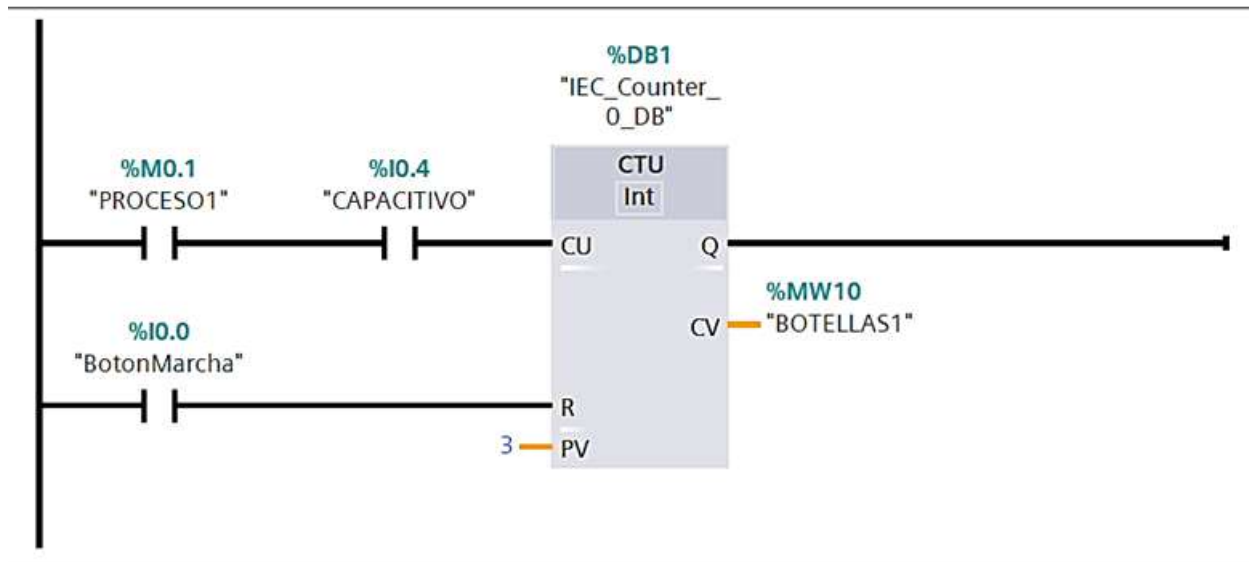


Figura 81. Segmento 6 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #7 establece que, si ya se han procesado 3 botellas durante el ciclo de operación y el sistema no está en estado de "APAGADO", se activará la bobina del bloque "ULTIMOTIMER". Esta acción activará un temporizador final que dará inicio al proceso de finalización del ciclo.

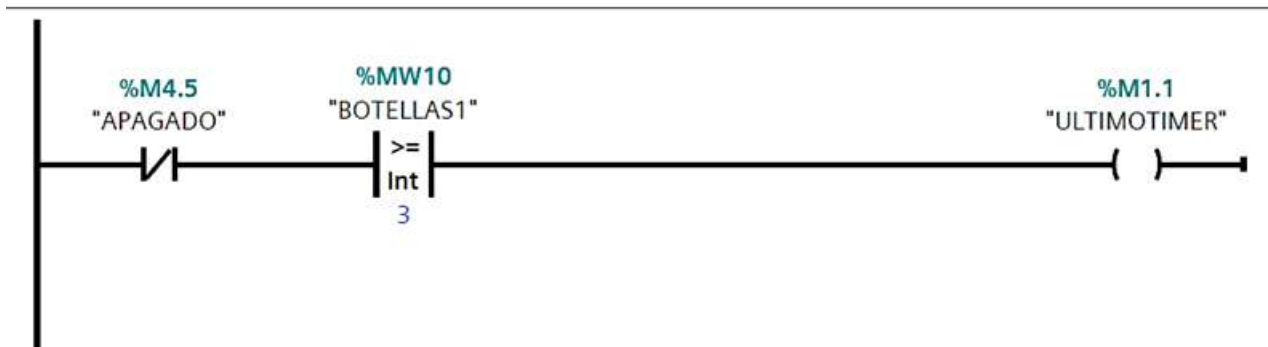


Figura 82. Segmento 7 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #8 controla la fase final del proceso mediante un temporizador que define cuándo debe concluir el ciclo. El temporizador se activa una vez que se ha alcanzado el límite de 3 botellas y el proceso principal "PROCESO1" sigue en marcha. Este temporizador cuenta 20 segundos, tiempo en el cual se pueden realizar algunas acciones finales, como el encendido breve del motor. En la primera línea de bloques, se inicia el temporizador "%DB2" si el proceso principal "PROCESO1" está activo y se ha llegado al límite de 3 botellas. En la segunda línea de bloques, se especifica que, al completarse el temporizador, se activa la acción "AUXILIAR", que encenderá el motor para una tarea final. En la tercera línea, se establece que, después de transcurridos al menos 18 segundos sin que se active ningún otro estado, se activará la señal de "APAGADO", indicando el final del proceso.

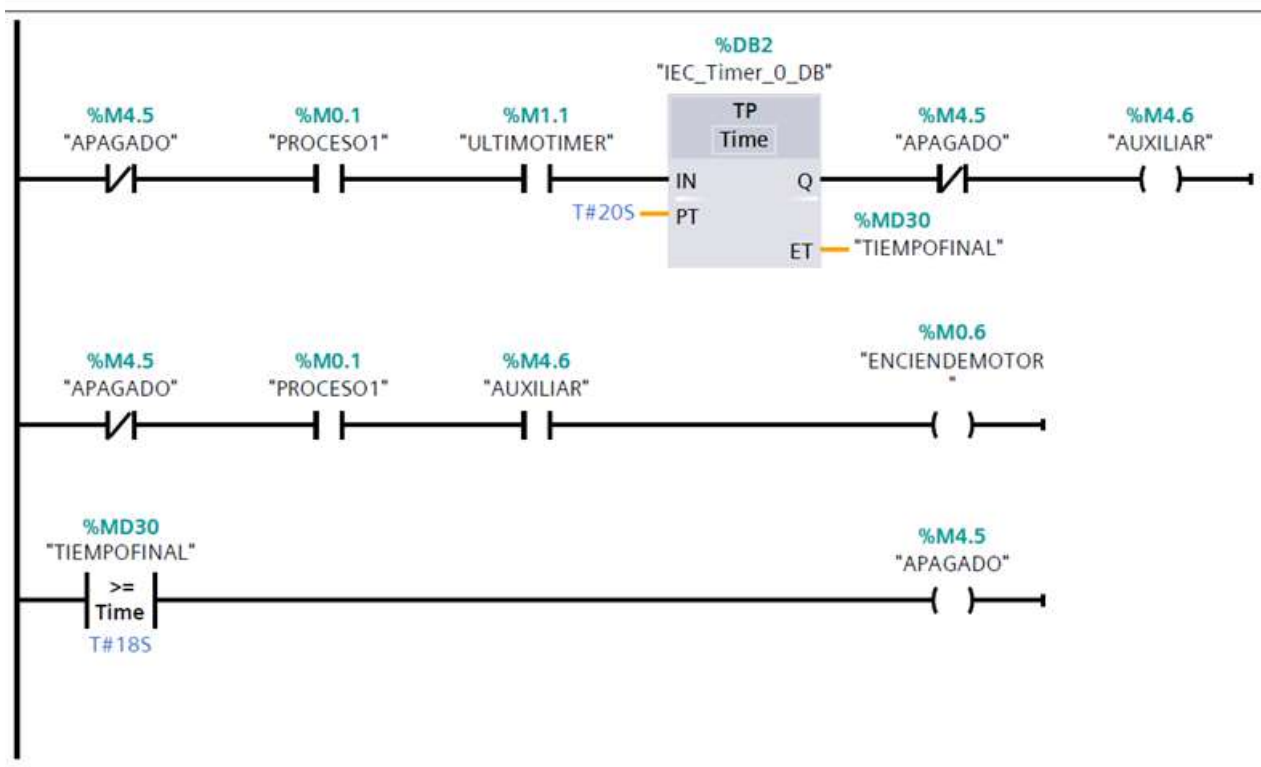


Figura 83. Segmento 8 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El Segmento #9 controla el encendido del motor a través de dos rutas lógicas. La primera línea establece que el motor se encenderá si el estado de "APAGADO" no está activado, el proceso principal "PROCESO1" está en marcha, y se ha emitido la señal de "ENCIENDE MOTOR". Una vez que estas condiciones se cumplen, se activa la bobina "MOTOR", encendiendo el motor. En la segunda línea, el encendido del motor sigue una ruta similar. El motor se encenderá si el estado de "APAGADO" no está activado, el proceso "PROCESO1" está en marcha, y la señal de preencendido del motor "PRENMOT" ha sido activada. Al cumplirse estas condiciones, también se activa la bobina "MOTOR".

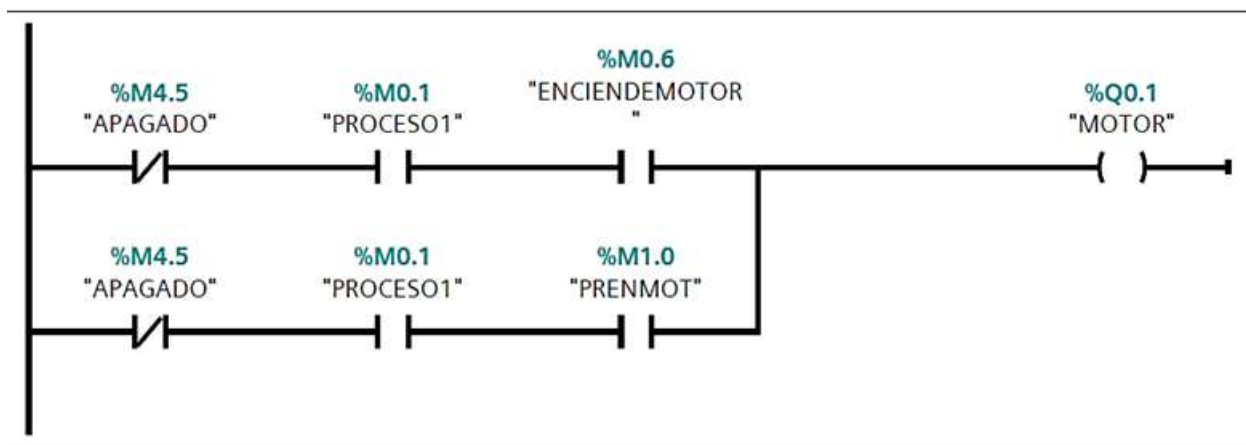


Figura 84. Segmento 9 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #10 establece el inicio del proceso de pesaje del vidrio triturado cuando cae sobre la celda de carga. El proceso comenzará una vez que se cumplan las siguientes condiciones: el estado de "APAGADO" no debe estar activado, el "PROCESO1" debe estar en marcha, y se debe haber emitido la señal para encender el motor, "ENCIENDE MOTOR".

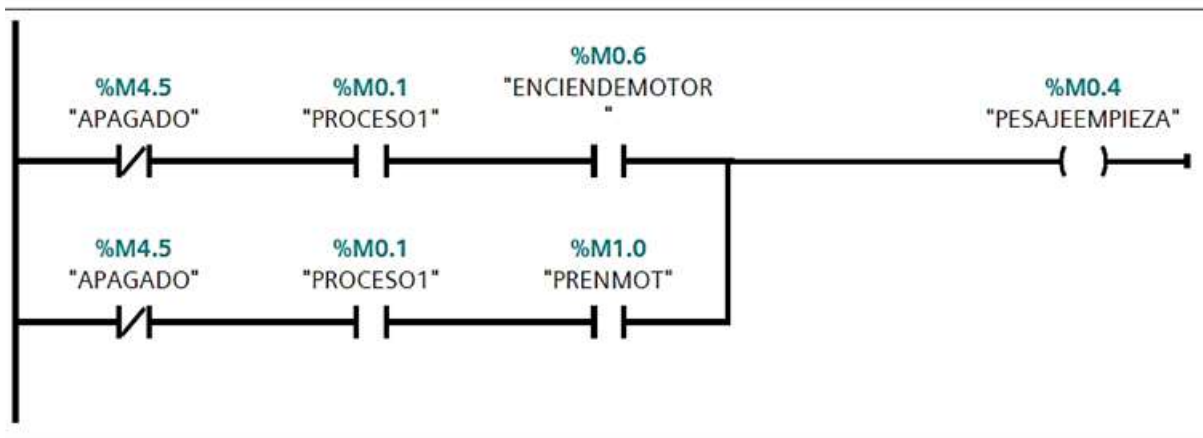


Figura 85. Segmento 10 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #11 es fundamental en la lógica del sistema, ya que se encarga de tomar la lectura analógica de la celda de carga, normalizarla y escalarla a un valor que pueda interpretarse dentro del rango establecido (0 a 1000). De este modo, se garantiza que las lecturas del sensor de peso se traduzcan correctamente en datos utilizables para el control y monitoreo del sistema.



Figura 86. Segmento 11 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #12 controla las condiciones necesarias para que inicie el proceso de cribado "PROCESO2CRIBA". La primera condición es que el sistema no debe estar en el estado de "APAGADO". La segunda condición es que el proceso principal "PROCESO1" debe estar activo. Además, es necesario que el proceso de pesaje haya comenzado y se refleje un valor de peso en el HMI. También, debe haberse alcanzado el límite de botellas procesadas, que es de 3, y el temporizador final debe haber completado su cuenta, lo que indica que el ciclo ha finalizado y que es seguro retirar el vidrio triturado.

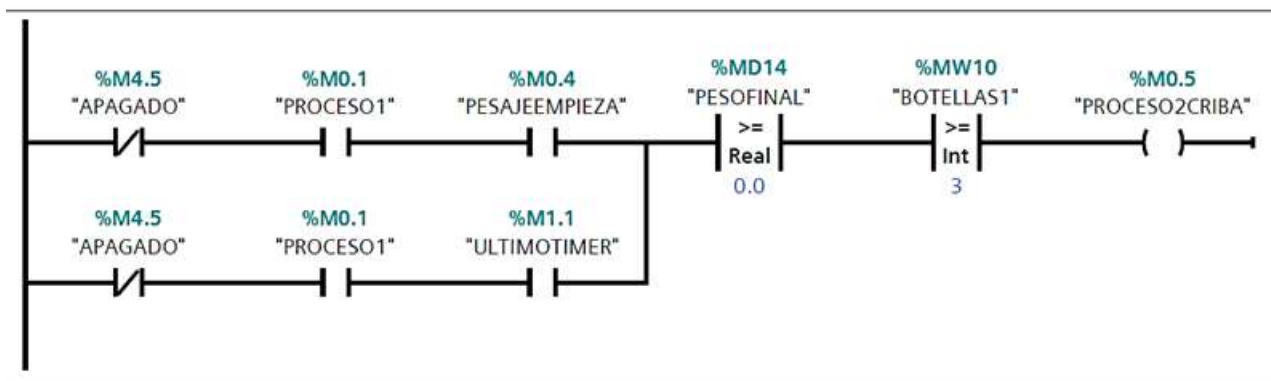


Figura 87. Segmento 12 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #13 controla la activación de una señal PWM, la cual genera un pulso que permite un control más preciso y seguro de la velocidad del motor. La señal se activará solo si se cumplen ciertas condiciones: el sistema no debe estar en estado de "APAGADO", el proceso principal "PROCESO1" debe estar en marcha, y la señal de encendido del motor "PRENMOT" debe estar activa. Cuando todas estas condiciones se cumplen, la bobina de "pwmon" se activa.

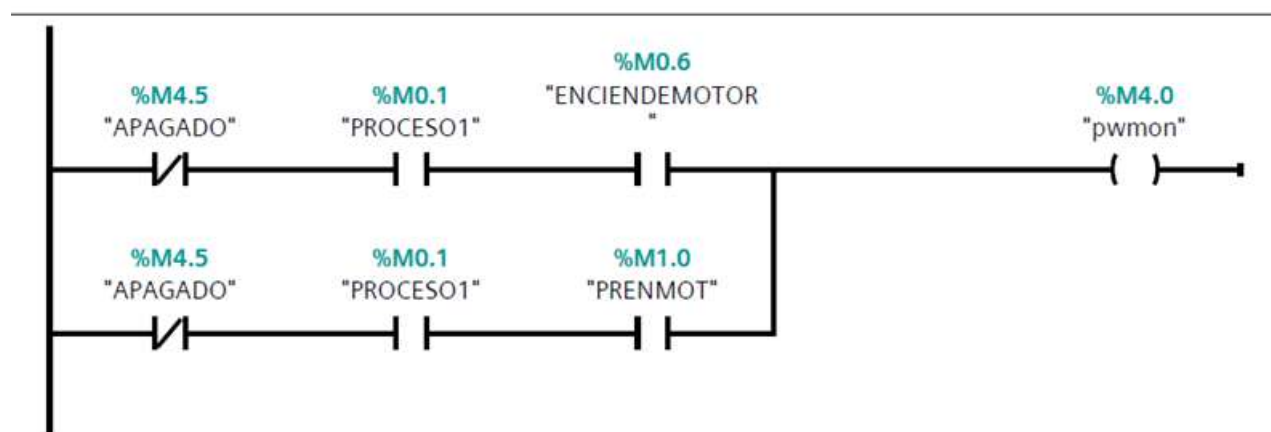


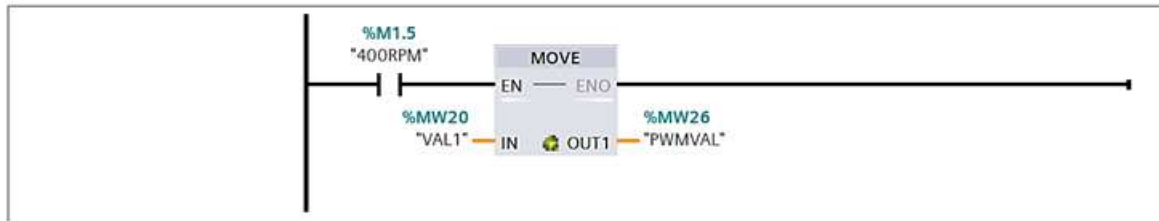
Figura 88. Segmento 13 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #14 asigna los valores correspondientes a diferentes velocidades del motor a tres variables específicas. La variable "VAL1" se establece para 400 RPM, "VAL2" para 1000 RPM, y "VAL3" para la velocidad máxima de 1400 RPM. Estas variables permiten controlar las distintas velocidades del motor según los requisitos del proceso.

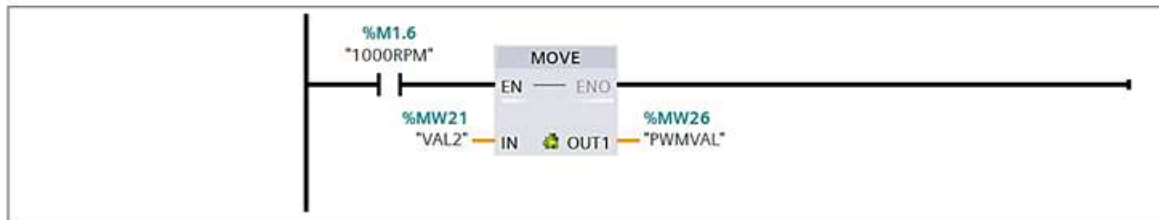


Figura 89. Segmento 14 de programación ladder. Fuente: Los autores.

Los segmentos #15, #16 y #17 permiten seleccionar entre tres velocidades diferentes del motor (400 RPM, 1000 RPM y 1400 RPM) mediante la activación de los contactos %M1.5, %M1.6 y %M1.7. Dependiendo de cuál de estos contactos esté cerrado, el valor correspondiente se transfiere a la dirección de memoria %MW26, designada como "PWMVAL", para controlar la velocidad del motor.



Segmento 16:



Segmento 17:

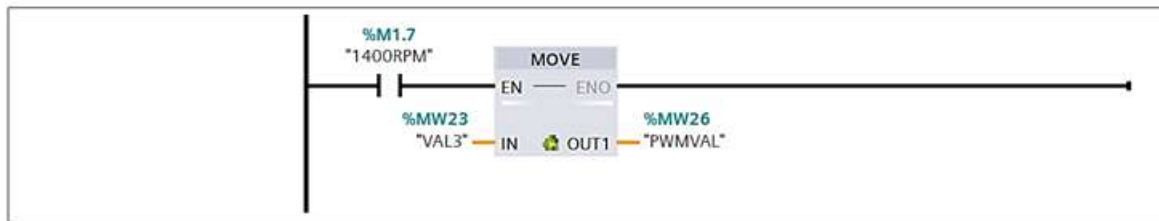


Figura 90. Segmento 15, 16 y 17 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #18 monitorea la señal PWM que regula la velocidad del motor. Si dicha señal cae por debajo del límite mínimo establecido de 400 RPM, se activará el estado de "PWMLOW", el cual funciona como una

advertencia de que el motor está operando a una velocidad inferior a la requerida.

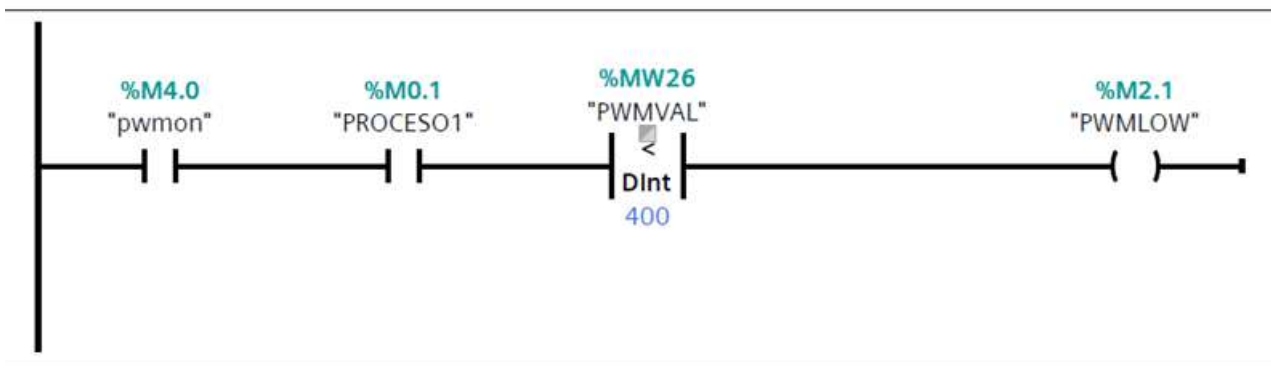


Figura 91. Segmento 18 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #19 monitorea el valor PWM almacenado en el bloque %MW26 para determinar si la velocidad del motor se encuentra dentro de uno de los rangos establecidos, en este caso entre 400 RPM y 1000 RPM. Si el valor de %MW26 está dentro de este rango, se activará la bobina "PWMMEDIUM", lo que indica que la velocidad del motor está en el rango medio predefinido.

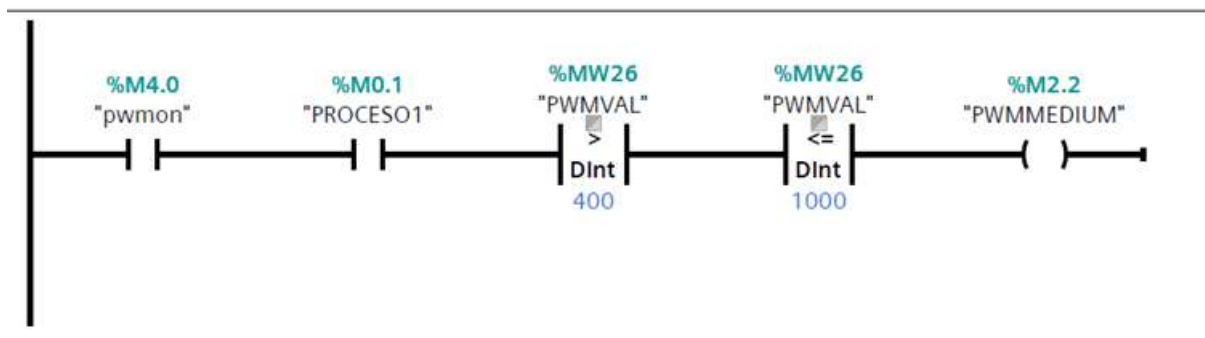


Figura 92. Segmento 19 de programación ladder. Fuente: Los autores.

Al igual que en los segmentos #18 y #19, en este segmento #20 se define el rango correspondiente al estado "PWMHIGH", el cual se establece entre 1000 RPM y 1400 RPM. Si el valor de la señal PWM se encuentra dentro de este rango, se activará el estado "PWMHIGH", indicando que el motor está operando en el rango de velocidad alta.

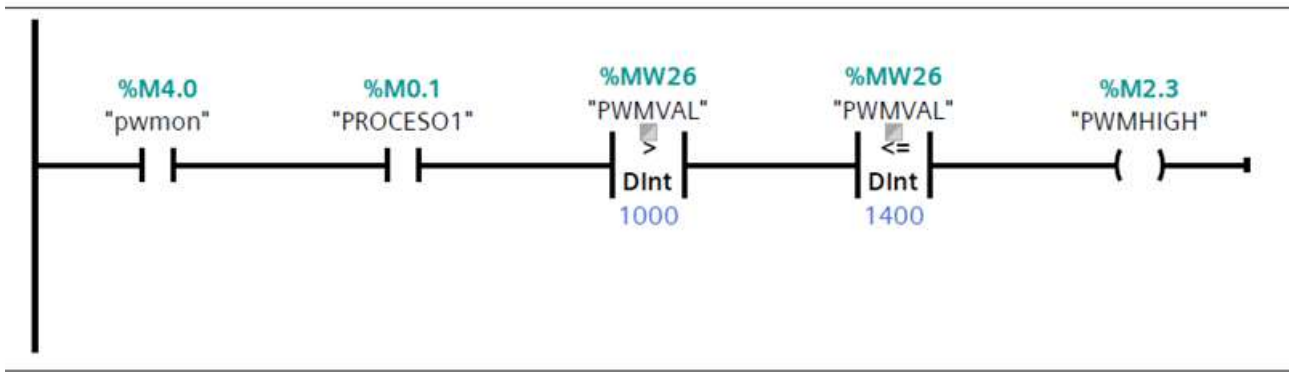


Figura 93. Segmento 20 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #21 implementa un mecanismo para gestionar la situación en la que se activa el estado "PWMLow", lo que indica que el motor está funcionando a una velocidad inferior a 400 RPM. Esto señala la necesidad de un reinicio del sistema para evitar posibles fallos. Si se detecta el estado "PWMLow" y el temporizador anterior no está activo, se activará el temporizador %DB5 por un periodo de 10 milisegundos. Una vez que el temporizador finaliza su ciclo, se genera una señal de reinicio, "RESET1". Esta señal de reinicio activa un segundo temporizador, "RESETTIMER1", por un lapso de 5 milisegundos, lo que permite reiniciar componentes específicos del sistema o restablecerlo a condiciones seguras.

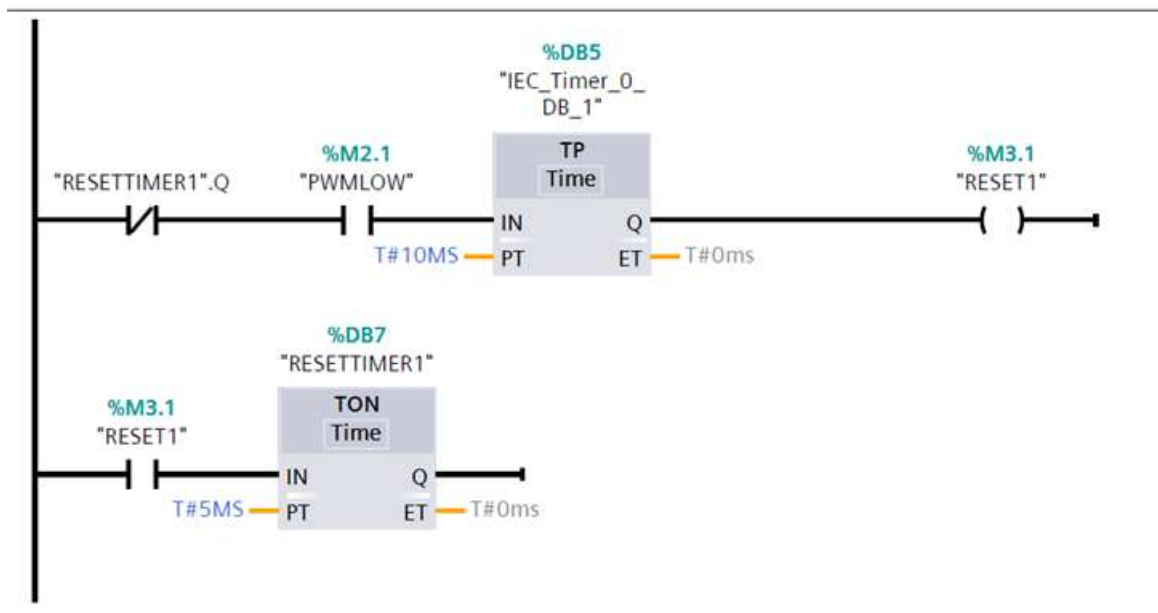


Figura 94. Segmento 21 de programación ladder. Fuente: Los autores.

Al igual que el segmento #21, el segmento #22 implementa un mecanismo para manejar la situación en la cual la señal PWM se encuentra en el rango medio (400 – 1000) lo que podría requerir un reinicio del sistema para ajustar las condiciones de operación.

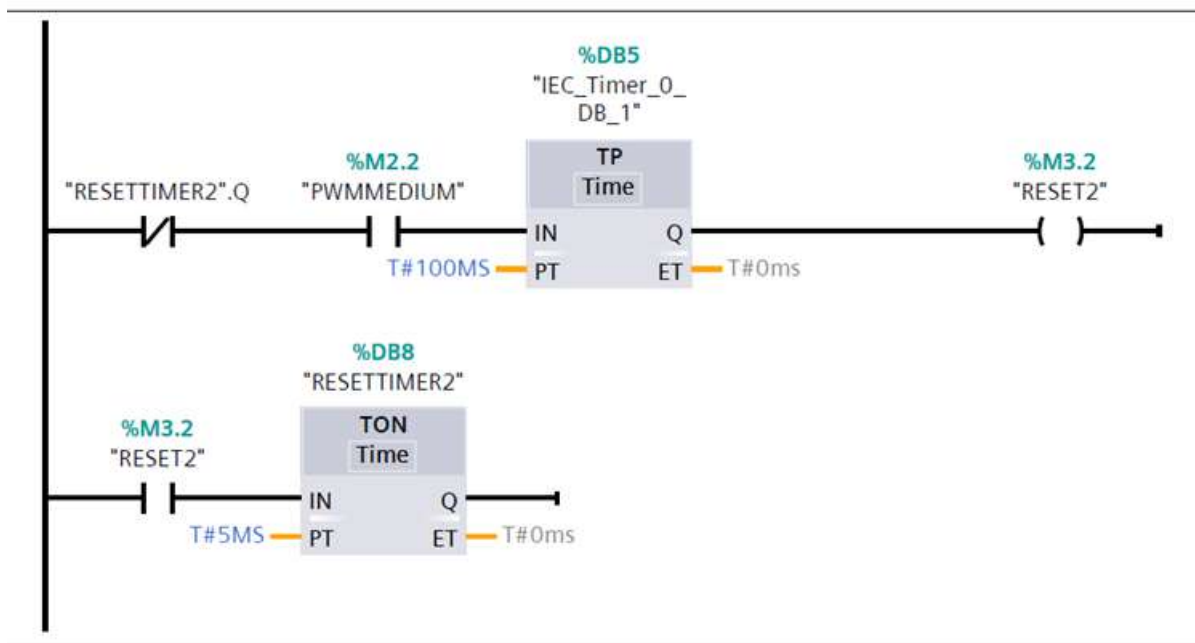


Figura 95. Segmento 22 de programación ladder. Fuente: Los autores.

Al igual que los 2 segmentos anteriores, el segmento #23 implementa el mecanismo de reset el cual si se activa la señal de "PWMHIGH" y no es la velocidad que hemos determinado, entonces se procederá a activar un reinicio para así poder determinar posibles causantes.

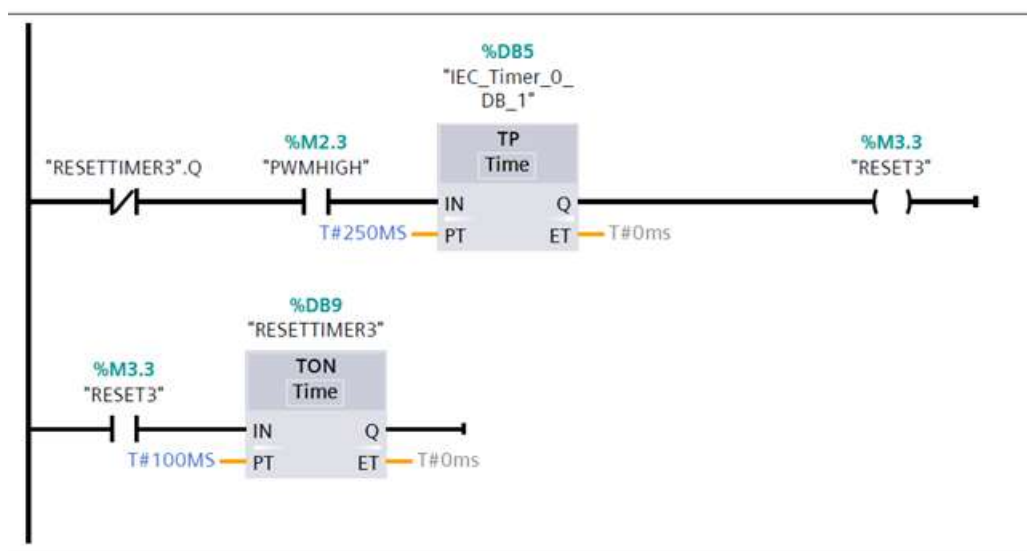


Figura 96. Segmento 23 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #24 coordina la reacción del sistema al detectar diferentes resets, lo cual dependiendo de cual se active ("RESET1", "RESET2" o "RESET3"), se encendera la misma salida "MOTORVEL" lo que ajusta la velocidad del motor. Aquí el sistema responderá de una manera controlada para ajustar la velocidad del motor en base a la situación del reset detectada.

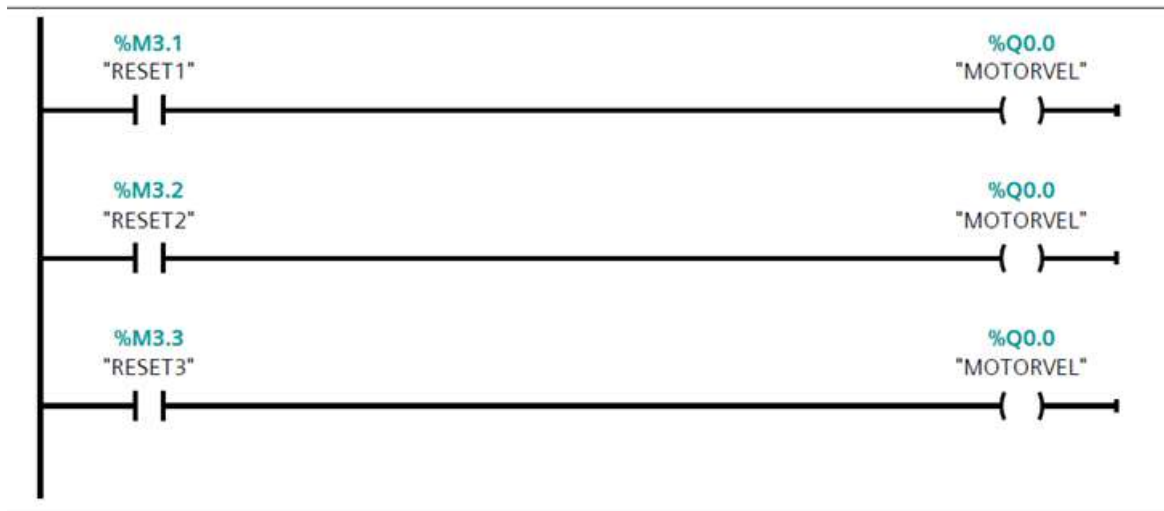


Figura 97. Segmento 24 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #25 pertenece a la lógica encargada de gestionar el conteo de ciclos o lotes procesados. Con un enfoque específico en el proceso de cribado ("PROCESO2CRIBA"). El cual cuando el proceso de cribado está en marcha y el sistema no está en el estado "APAGADO" el contador "%DB3" incrementa.

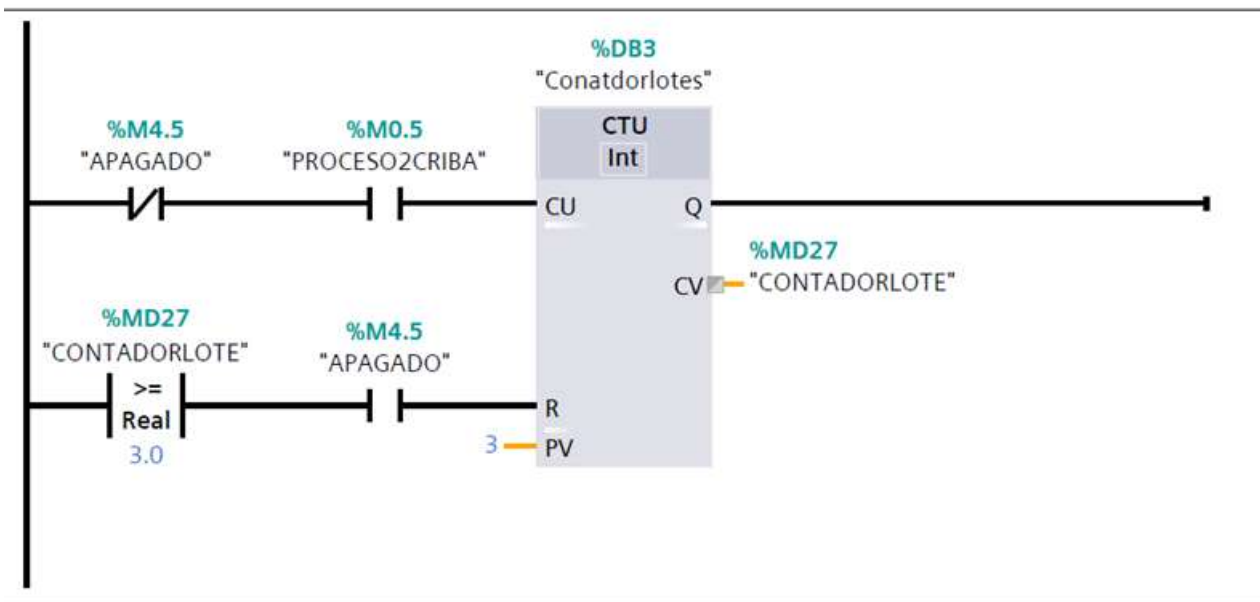


Figura 98. Segmento 25 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #26 está programado para mover el valor de la variable "PESOFINAL" a "peso1" determinando que se acabo un ciclo o lote, y el peso del vidrio triturado durante ese ciclo quedara registrado bajo la variable de "peso1".

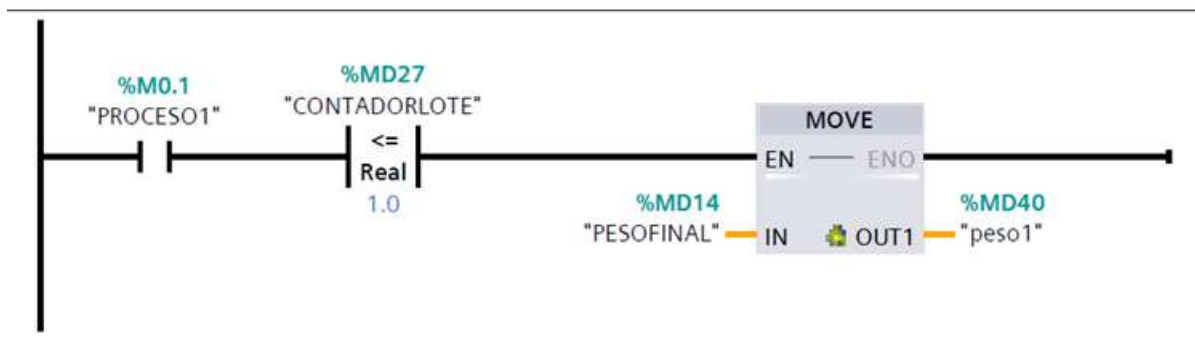


Figura 99. Segmento 26 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #27 igual que el segmento #26 procede a pasar el valor final del "PESOFINAL" a la variable de "peso2" lo cual nos indica que el peso del segundo ciclo o lote ha terminado y se requiere guardar el peso medido en una variable. Las condiciones para esta lógica es que primero el estado de "PROCESO1" debe estar en marcha, el valor de contador de los lotes debe estar entre 1 y 2 lo cual indica que estamos en el segundo ciclo y si ambas condiciones se cumplen podemos proceder a pasar el valor de "PESOFINAL" a la variable de "peso2".

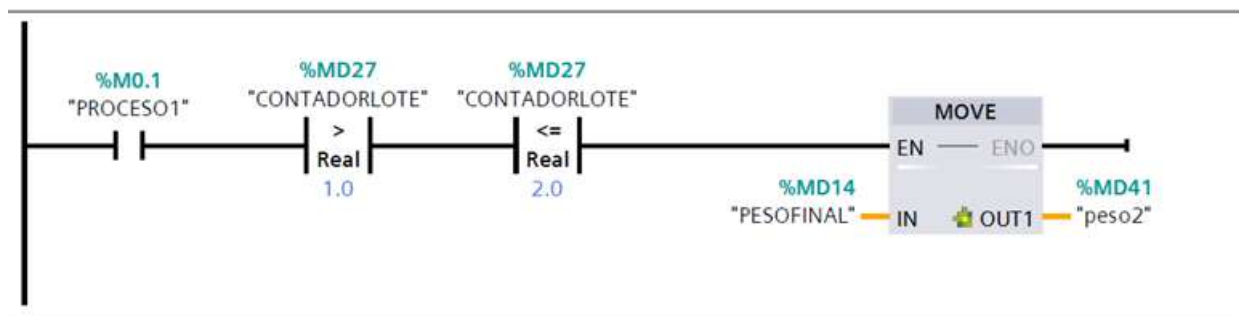


Figura 100. Segmento 27 de programación ladder. Fuente: Los autores.

El segmento #28 está diseñado, al igual que los segmentos #26 y #27, para transferir los valores de "PESOFINAL" a la variable "peso3". En esta ocasión, los valores de los contadores deben encontrarse en el rango de 2 a 3, lo que indica que está en el tercer ciclo. Solo cuando se cumpla esta condición, se transferirá la información de "PESOFINAL" a "peso3".

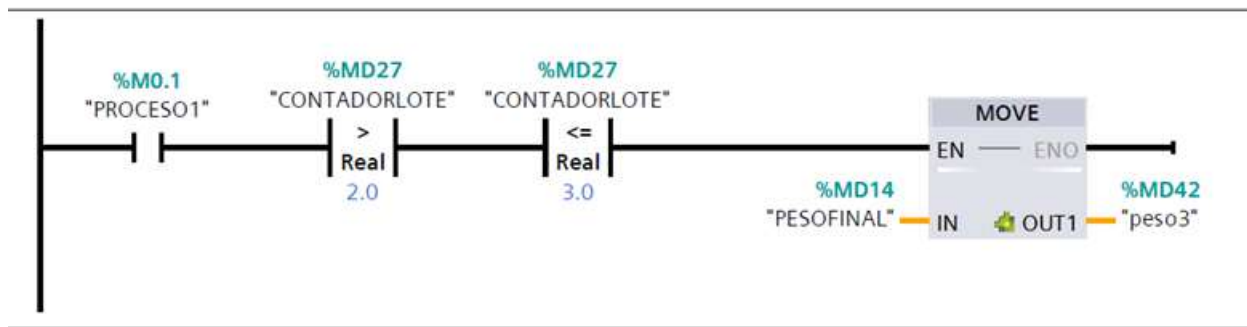


Figura 101. Segmento 28 de programación ladder. Fuente: Los autores.

VI-T. Configuración y diseño de HMI direccionado al PLC siemens S7 1200

La configuración y diseño del HMI es una parte fundamental de la máquina trituradora, ya que permite controlar y supervisar su operación de manera simple mediante botones como marcha, paro y paro de emergencia. Esto elimina la necesidad de interacciones directas y complejas con el hardware, facilitando la operación del sistema.

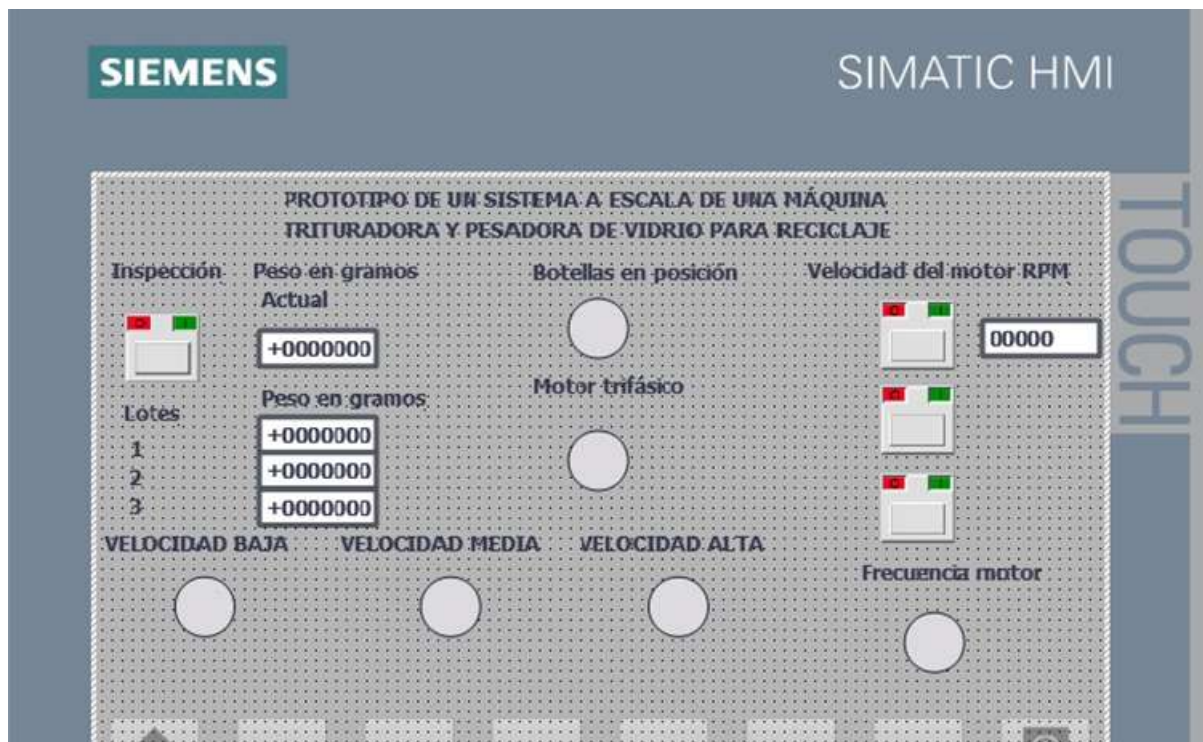


Figura 102. configuración HMI 1. Fuente: Los autores.

Esta es la plantilla que se diseña para el HMI, en la cual se ubican todos los indicadores y controles necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de la trituradora. Esta configuración facilita la supervisión y operación eficiente del sistema.

Se agrega el botón de inspección, el cual actúa como el indicador principal que señala cuando un ciclo o lote está por comenzar. Asimismo, se han incorporado tres botones adicionales que permiten ajustar la velocidad del

motor de acuerdo con los requerimientos operativos.

Se dispone de contadores que proporcionarán el peso del vidrio triturado tras el proceso de cribado, así como contadores que indicarán los pesos obtenidos en cada lote. Adicionalmente, se cuenta con un contador que mostrará el estado actual de la velocidad del motor.

Se han implementado varios indicadores que proporcionarán información clave para el funcionamiento del sistema. Uno de estos es el indicador de "Botellas en posición", que señala cuando las botellas han sido detectadas por el sensor capacitivo y están listas para ser trituradas. También se incluye un indicador que muestra si el motor trifásico está encendido, junto con las diferentes velocidades establecidas (400, 1000 y 1400 RPM).

VII. RESULTADOS

VII-A. Utilidad por día acorde a un número de botellas de vidrio pre-establecido

Administración

1. Caso 1: Si se trituran 1.6843 botellas cada 5 minutos

Vamos a optar por un margen de error de 10 KG por pérdidas o falta de producto y se trabajará la jornada laboral completa que son 8 horas. Así tendríamos:

$$UD_1 = 4,5 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,04 \text{ \$/Kg} = \$144 \quad (254)$$

Ahora asumimos el riesgo de falta de producto (botellas de vidrio), por lo que nos tocaría comprarle a terceros a un precio de 0.03 \\$/Kg, entonces tendríamos:

$$UD_2 = 4,5 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,03 \text{ \$/Kg} = \$1,08 \quad (255)$$

Entonces nuestra utilidad diaria sería:

$$UD_T = UD_1 - UD_2 = 144 - 108 = \$0,36 \quad (256)$$

Asumimos el peor de los casos para tener un valor de ganancia mínima a pesar de las circunstancias, por lo que asumimos que solo se trabajará 2 veces a la semana:

$$US = UD_T \times 2 \text{ días laborales} = 0,36 \times 2 = \$0,72 \quad (257)$$

Ahora, asumiendo que solo se trabajarán 2 jornadas al mes:

$$UM = US \times 2 \text{ jornadas al mes} = 0,72 \times 2 = \$1,44 \quad (258)$$

Restando el costo de kilovatio por hora, calculamos el uso del motor:

$$\text{Potencia} = 0,75 \text{ HP} \times 736 \text{ vatios/HP} = 552 \text{ vatios} \quad (259)$$

$$\text{Consumo mensual} = 552 \text{ vatios} \times 32 \text{ horas/mes} = 17,66 \text{ Kw.h} \quad (260)$$

$$\text{Costo de consumo mensual} = 17,66 \text{ Kw.h} \times 0,16 \text{ \$/Kw.h} = \$2,82U \quad (261)$$

La utilidad mensual será:

$$UM = \$1,44 - \$2,82 = -\$1,38 \quad (262)$$

Asumiendo que se trabajará solo 8 meses al año:

$$UA = -\$1,38 \times 8 = -\$11,04 \quad (263)$$

El valor actual neto (VAN) con una tasa de descenso del 12 % será:

$$VAN = -P + \frac{UN}{1 + 0,12} = -2200 + \frac{-11,04}{1 + 0,12} = -2209,86 \quad (264)$$

2. Caso 2: Si se trituran 6 botellas cada 5 minutos

Vamos a optar por un margen de error de 10 KG por pérdidas o falta de producto y se trabajará la jornada laboral completa que son 8 horas. Así tendríamos 265

$$UD_1 = 16,3 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,04 \text{ \$/Kg} = \$5,21 \quad (265)$$

Asumimos el riesgo de falta de producto (botellas de vidrio):

$$UD_2 = 16,3 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,03 \text{ \$/Kg} = \$3,91 \quad (266)$$

La utilidad diaria será:

$$UD_T = \$5,21 - \$3,91 = \$1,3 \quad (267)$$

Asumimos que se trabajará solo 2 veces a la semana:

$$US = UD_T \times 2 \text{ días laborales} = \$1,3 \times 2 = \$2,6 \quad (268)$$

Asumiendo que se trabajará solo 2 jornadas al mes:

$$UM = US \times 2 = \$2,6 \times 2 = \$5,2 \quad (269)$$

$$\text{Potencia} = 0,75 \text{ HP} \times 736 \text{ vatios/HP} = 552 \text{ vatios} \quad (270)$$

$$\text{Consumo mensual} = 552 \text{ vatios} \times 32 \text{ horas/mes} = 17,66 \text{ Kw.h} \quad (271)$$

$$\text{Costo de consumo mensual} = 17,66 \text{ Kw.h} \times 0,16 \text{ \$/Kw.h} = \$2,82U \quad (272)$$

Restando el costo del kilovatio por hora:

$$UM = \$5,2 - \$2,82 = \$2,38 \quad (273)$$

Asumiendo que se trabajarán solo 8 meses al año:

$$UA = \$2,38 \times 8 = \$19,04 \quad (274)$$

El VAN será:

$$VAN = -2200 + \frac{19,04}{1 + 0,12} = -2183 \times 8 = 19,04 \quad (275)$$

3. Caso 3: Si se trituran 12 botellas cada 5 minutos

Vamos a optar por un margen de error de 10 KG por pérdidas o falta de producto y se trabajará la jornada laboral completa que son 8 horas. Así tendríamos:

$$UD_1 = 32,6 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,04 \text{ \$/Kg} = \$10,43 \quad (276)$$

Asumimos el riesgo de falta de producto:

$$UD_2 = 32,6 \text{ Kg/hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 0,03 \text{ \$/Kg} = \$7,82 \quad (277)$$

La utilidad diaria será:

$$UD_T = \$10,43 - \$7,82 = \$2,61 \quad (278)$$

Asumimos que se trabajará 2 veces a la semana:

$$US = UD_T \times 2 \text{ días laborales} = \$2,61 \times 2 = \$5,22 \quad (279)$$

Asumiendo que se trabajará 2 jornadas al mes:

$$UM = US \times 2 = \$5,22 \times 2 = \$10,44 \quad (280)$$

$$\text{Potencia} = 0,75 \text{ HP} \times 736 \text{ vatios/HP} = 552 \text{ vatios} \quad (281)$$

$$\text{Consumo mensual} = 552 \text{ vatios} \times 32 \text{ horas/mes} = 17,66 \text{ Kw.h} \quad (282)$$

$$\text{Costo de consumo mensual} = 17,66 \text{ Kw.h} \times 0,16 \text{ \$/Kw.h} = \$2,82U \quad (283)$$

Restando el costo del kilovatio por hora:

$$UM = \$10,44 - \$2,82 = \$7,62 \quad (284)$$

Asumiendo que se trabajarán solo 8 meses al año:

$$UA = \$7,62 \times 8 = \$60,96 \quad (285)$$

El VAN será:

$$VAN = -2200 + \frac{60,96}{1 + 0,12} = -2145,57 \quad (286)$$

VII-B. Simulación del interfaz HMI en tiempo real

Como se muestra en la figura 103, el HMI indica que se ha presionado el botón de inspección y que el motor ya está encendido. Asimismo, el sistema señala que las botellas han pasado por el sensor capacitivo, confirmando que están listas para ser trituradas. Además, se observa que el motor está operando a una velocidad de 1280 RPM, lo cual se encuentra dentro del rango de velocidad alta, previamente definido entre 1000 RPM y 1400 RPM.



Figura 103. configuración HMI 2. Fuente: Los autores.

En relación a la figura 103 , se observa en la figura 104 que varias variables ya se encuentran activas, lo que indica que el botón de inspección ha sido presionado. Esto habilita la detección de la primera botella, que, una vez depositada en la tolva y detectada por el sensor capacitivo, permite el encendido del motor trifásico. Todos estos indicadores confirman que el sistema está listo para iniciar el proceso de trituración.

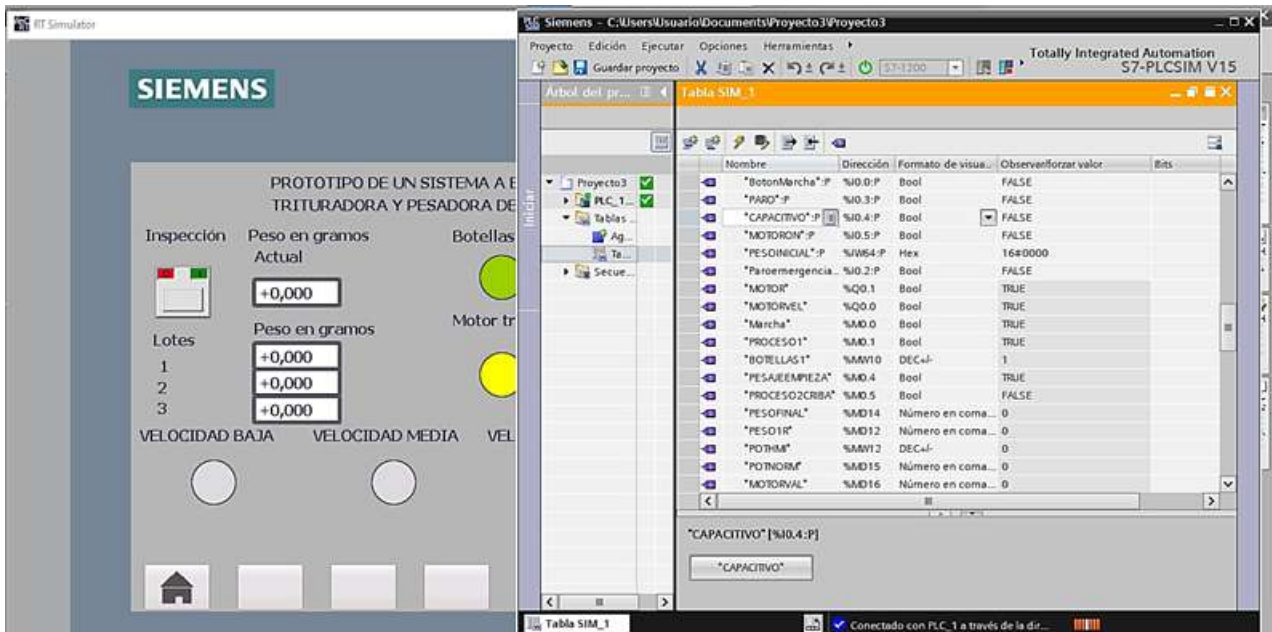


Figura 104. configuración HMI 3. Fuente: Los autores.

Como se muestra en la figura 105, una botella ya está siendo triturada y los fragmentos que han pasado por la criba están siendo medidos por la celda de carga. Al tratarse del primer ciclo o lote, estos valores se registran en la casilla correspondiente al primer lote.



Figura 105. configuración HMI 4. Fuente: Los autores.

En la figura 106 se muestra que la primera botella ha sido triturada y que el valor actual del peso en gramos se refleja también en el registro del lote 1. A continuación, se procede a introducir la segunda botella por la tolva, la cual repetirá el mismo proceso de la primera. A medida que los fragmentos caen, el peso actual en gramos se irá actualizando. Este proceso se repetirá durante todo el ciclo de 7 minutos, en el cual, de acuerdo con los criterios establecidos, deben procesarse tres botellas por lote.

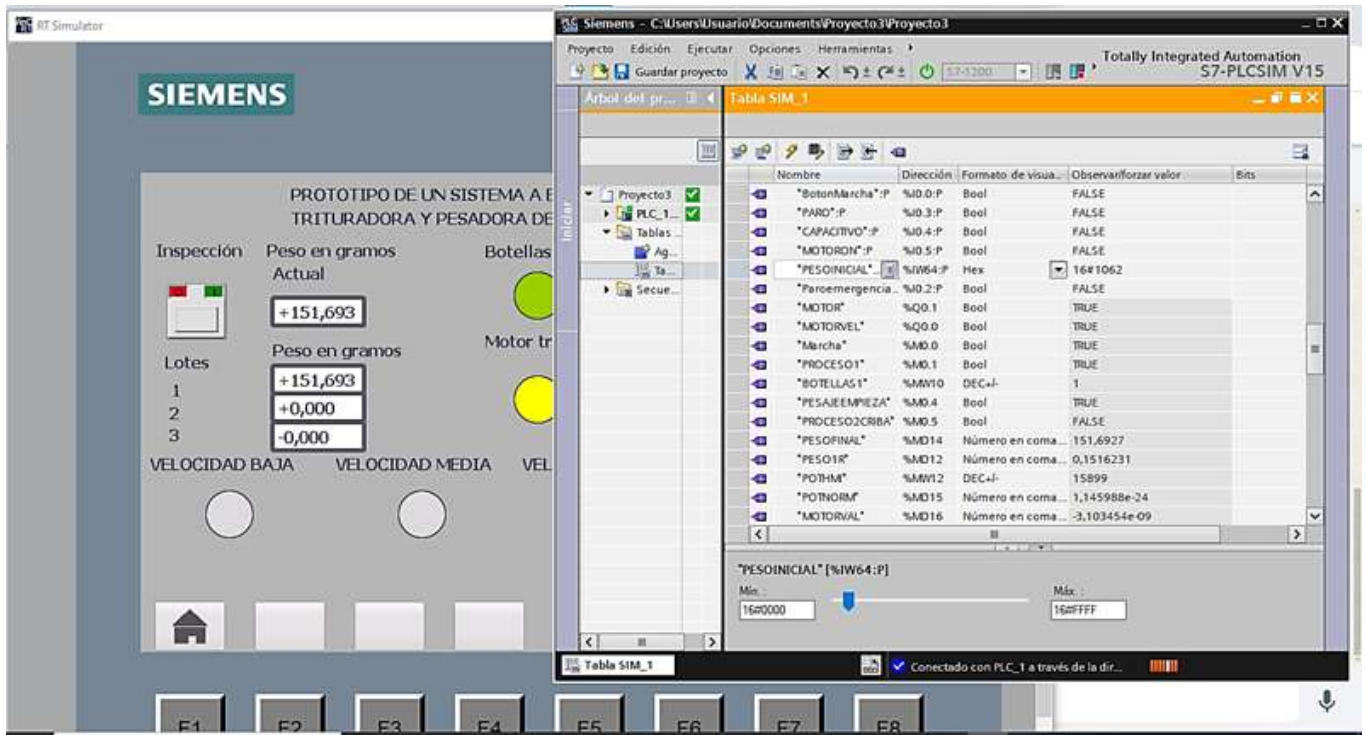


Figura 106. configuración HMI 5. Fuente: Los autores.

En la figura 107 se indica que la segunda botella ha sido ingresada y triturada, habiendo transcurrido 4 minutos del ciclo del proceso. Esto deja un total de 3 minutos restantes para ingresar la tercera botella e iniciar su trituración. Si el sensor no detecta otra botella después de la segunda, el motor se detendrá tras un periodo de tiempo, hasta que una nueva botella sea ingresada por la tolva y active el sensor capacitivo. El sistema continuará operando hasta que se complete el ciclo de 7 minutos. Al finalizar este tiempo, el motor se apagará definitivamente, señalando que es momento de retirar el vidrio triturado y preparar la máquina para el siguiente lote.

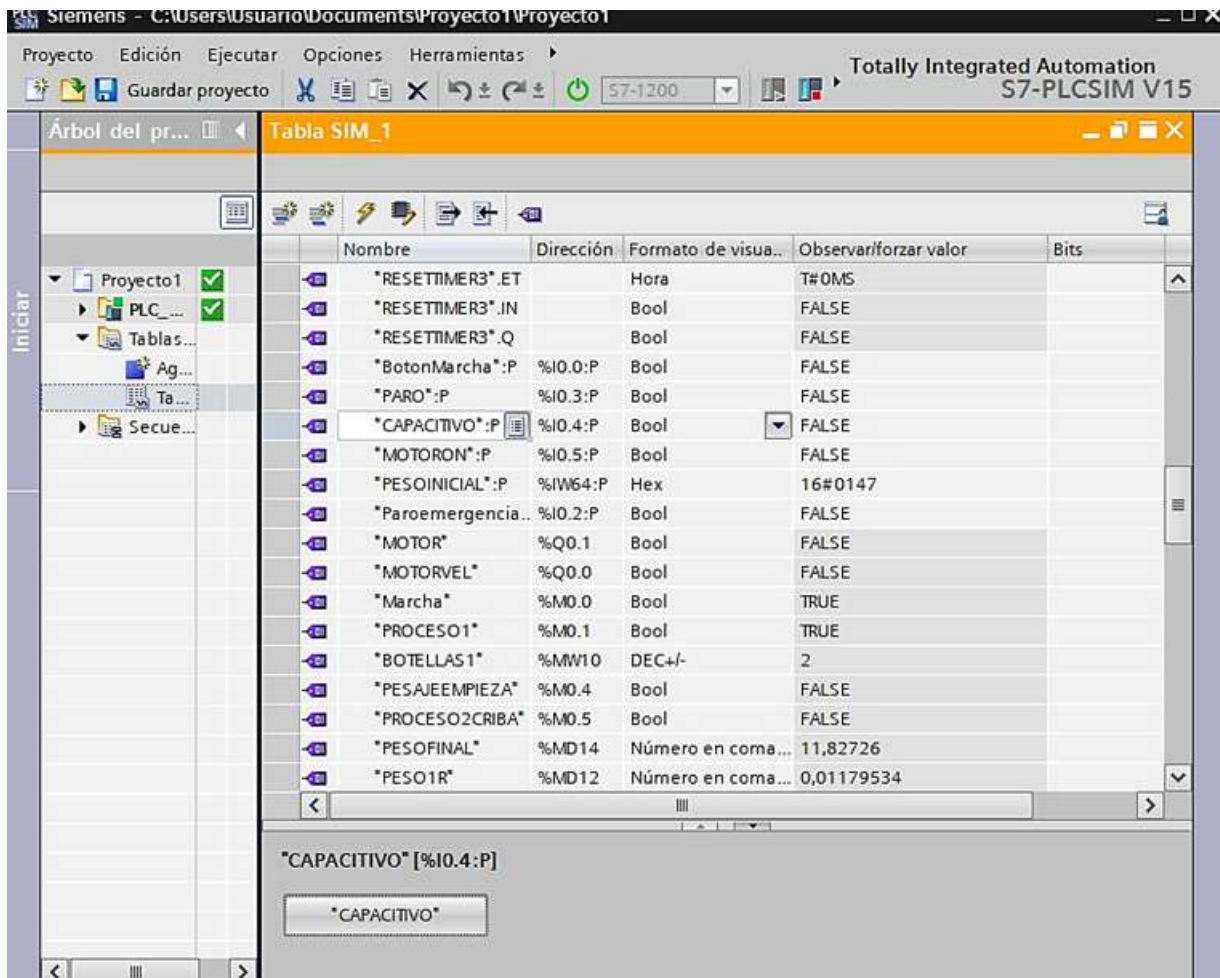


Figura 107. configuración HMI 6. Fuente: Los autores.

VII-C. Ensamblado de diferentes componentes de la máquina trituradora de vidrio

En la figura 108 se muestra el proceso de mecanizado que se realiza a los engranajes. Estos componentes vienen de fábrica con un diámetro de eje estándar, por lo que fue necesario trabajar un mecanizado para adaptarlos a las especificaciones del prototipo. Además, se creó el espacio destinado a la inserción de la cuña, lo que garantiza estabilidad y un acople firme entre el engranaje y el eje.



Figura 108. Los engranajes siendo mecanizados. Fuente: Los autores.

Para asegurar un acoplamiento seguro entre el engranaje y el eje, es necesario mecanizar el eje como se muestra en la figura 109, creando un espacio adecuado para la inserción de la cuña. Esto permite un ajuste firme y estable entre ambos componentes.



Figura 109. creación de espacio en el eje para dar paso a la cuña Fuente: Los autores.

Se verifica que el mecanizado de la cuña realizado en el eje tiene la longitud adecuada para asegurar un acoplamiento correcto con el engranaje, permitiendo su inserción sin inconvenientes.



Figura 110. Comprobación de longitud de cuña: Los autores.

Con el uso de fragmentos de eje previamente cortados, se procede a insertar los ejes tanto en el engranaje motriz como en el engranaje conducido. Este paso permite verificar que el mecanizado realizado en ambos componentes es preciso y adecuado para garantizar su correcto funcionamiento.



Figura 111. Unión del eje con los engranajes: Los autores.

Para proporcionar la velocidad requerida al eje con las cuchillas, se implementa un sistema de transmisión multiplicador compuesto por engranajes y cadenas. Se utiliza una cadena ANSI #50 con un paso de 5/8 de pulgada, la cual tiene una longitud de fábrica de 3 metros. Debido a esto, fue necesario reducir su longitud para alcanzar la medida deseada de 59.37 pulgadas, lo que equivale a 1.508 metros.



Figura 112. Corte de cadena a la medida necesaria Fuente: Los autores.

Se instala la cadena ANSI #50 en el engranaje motriz con el objetivo de verificar que el acoplamiento sea correcto, evitando la presencia de vibraciones o espacios vacíos que podrían causar que la cadena se desplace del engranaje.



Figura 113. Corte de cadena a la medida necesaria Fuente: Los autores.

El material seleccionado para las cuchillas es el acero HARDOX 450, que se comercializa en planchas de 1.20 metros de largo por 20 cm de alto. Por esta razón, fue necesario realizar cortes precisos para obtener la cantidad de cuchillas requeridas, ajustándose a las especificaciones del diseño.



Figura 114. Plancha de HARDOX 450: Los autores.



Figura 115. Cuchillas cortadas y afiladas: Los autores.

Se ensambla y pinta la mesa de soporte, que se encarga de proporcionar estabilidad a la estructura principal de la máquina trituradora de vidrio. Esta base garantiza un soporte adecuado para el correcto funcionamiento del equipo.



Figura 116. ensamblaje de mesa de soporte: Los autores.



Figura 117. ensamblaje de mesa de soporte: Los autores.

Las láminas galvanizadas se doblan para conformar el cuello de la máquina trituradora, en el cual se inserta el eje que sostiene las cuchillas encargadas de triturar las botellas de vidrio.



Figura 118. Doble de lamina galvanizada para crear cuello de la maquina trituradora: Los autores.

Se adapta todo el cableado eléctrico en un panel, con el fin de mantener los cables organizados y asegurar que las protecciones, como el guardamotor, estén correctamente instaladas para garantizar un funcionamiento seguro y

eficiente del sistema.



Figura 119. Panel eléctrico : Los autores.

Se conecta la celda de carga, junto con su módulo de amplificación y el variador de frecuencia, al PLC Siemens S7-1200. Es crucial asegurar que todas las conexiones estén correctamente realizadas, ya que este sistema es uno de los componentes clave en la automatización de la máquina trituradora de vidrio.



Figura 120. Conexión de la celda de carga al PLC Siemens S7 1200 : Los autores.



Figura 121. Variador de frecuencia : Los autores.

Se fabrica compartimientos para ubicar los botones de paro de emergencia, marcha y paro, con el objetivo de facilitar su acceso y asegurar que puedan ser presionados de manera rápida y eficiente cuando sea necesario.



Figura 122. Paro de emergencia : Los autores.



Figura 123. Botones de marcha y paro : Los autores.

VIII. CRONOGRAMA

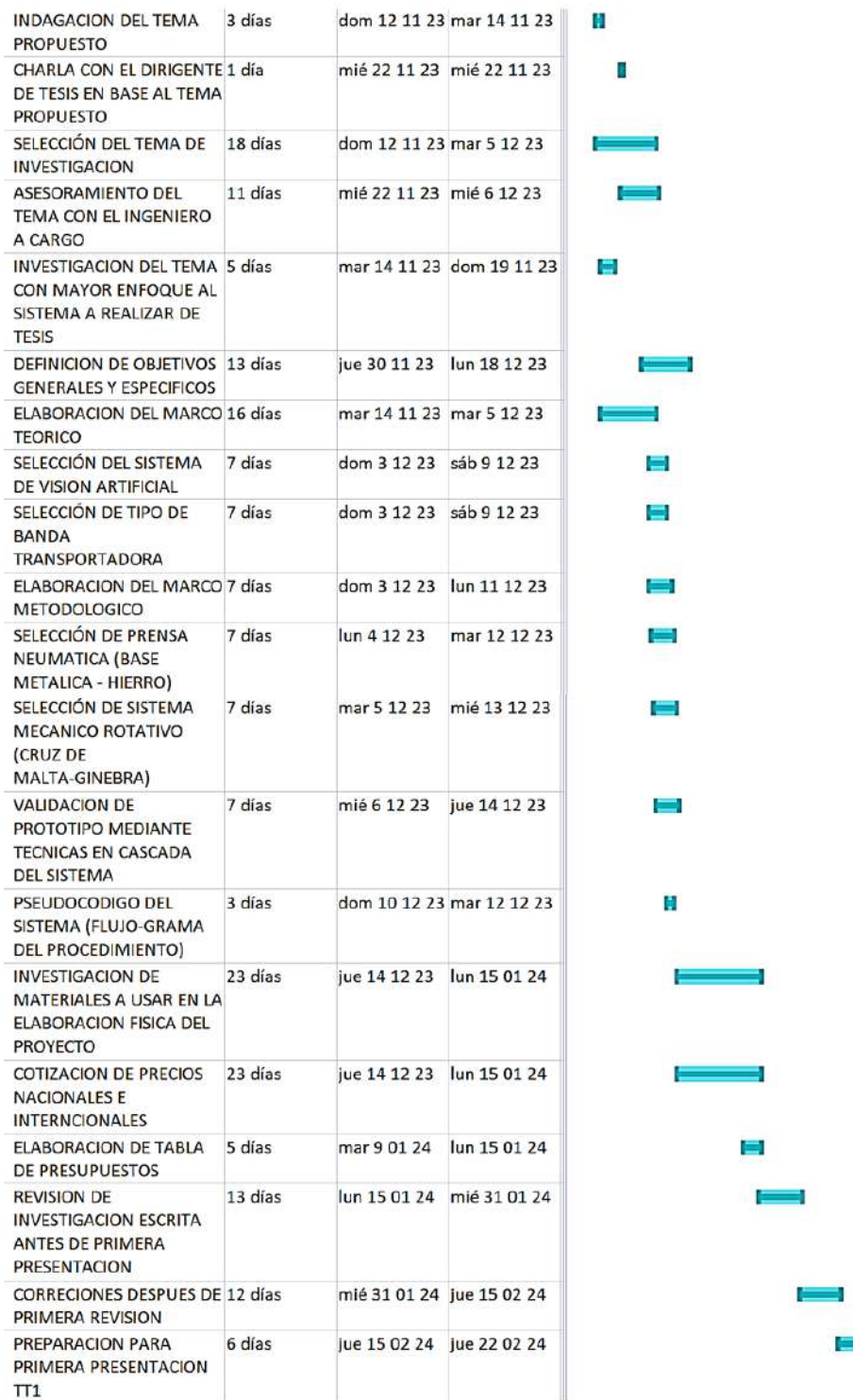


Figura 124. Diagrama de Gantt de las actividades para el desarrollo del proyecto. Fuente: Los autores.

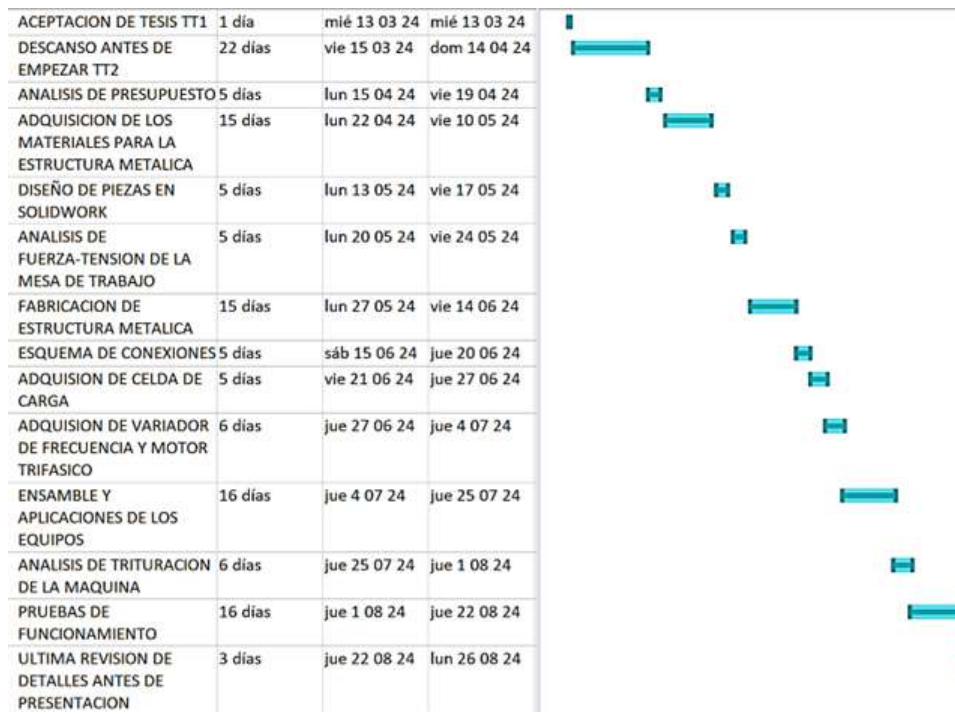


Figura 125. Diagrama de Gantt de las actividades para el desarrollo del proyecto. Fuente: Los autores.

IX. PRESUPUESTO

En la tabla IX se detallan los gastos necesarios para realizar este proyecto.

| Nombre del elemento | Descripción | Cantidad | Valor total |
|---|---------------------------------|-----------|--------------------|
| Motor reductor trifásico | 220V - 3/4 HP | 1 | \$200 |
| PLC siemens S7-1200 | controlador programable | 1 | \$320 |
| Variador de frecuencia CHINT NVF3M | 220 V - 2 HP - Output 7.5 A | 1 | \$275 |
| Caja de distribución | 40x30x20 | 1 | \$103.18 |
| Disyuntor | 220v | 1 | \$13 |
| Sensor capacitivo NPN | 24V | 1 | \$38.30 |
| Estructura metálica (soporte cuadrípode) | ángulos metálicos | 1 | \$150 |
| Planchas | | 2 | \$75 |
| Bisagras | plásticas | 4 | \$4 |
| Eje | De 1 – ½" diámetro | 1 | \$25 |
| Eje | De 5/8" diámetro | 4 | \$18 |
| Discos porta ejes | | 2 | \$22 |
| Piñón conductor (catalina) | (CG-125) | 1 | \$13.5 |
| Piñón conducido | (CG-125) | 1 | \$11.5 |
| Cadena | (CG-125) | 1 | \$15.5 |
| Chumacera de pared 4 orificios | | 2 | \$34 |
| Pernos de fijación de coraza | | 42 | \$22 |
| Ángulos | 7mm | 2 | \$23 |
| Pernos de chumacera | 7mm | 8 | \$12 |
| Bocines separadores | | 24 | \$24 |
| Martillos o cuchillas | 7mm | 12 | \$60 |
| Pintura anticorrosiva | | 1 | \$11 |
| Carcasa | acero 5mm | 1 | \$122 |
| Tolva | acero 5mm | 1 | \$80 |
| Tamiz de acero | tarjeta electrónica | 1 | \$30 |
| Cable de 3x12 concéntrico | cable | 1 | \$15 |
| Barra Neutro | 10mm | 1 | \$6.5 |
| Riel Ding | 1m | 2 | \$4 |
| Cable AWG 12 | 5m | 1 | \$9 |
| Cable AWG 16 | 10m | 1 | \$18 |
| Jumpers | cables para electronica | 50 | \$6.5 |
| Placa reductora de voltaje DC | voltaje de 50v a 5v | 1 | \$5 |
| Enchufe blindado 220v | enchufe 3 patas | 1 | \$2.25 |
| Enchufe blindado 120v | enchufe 3 patas | 1 | \$2.25 |
| Amarras plasticas | Amarras plasticas gruesas | 1 | \$13 |
| Tubería plástica moldeable | 6m | 2 | \$5 |
| Pulsador | Pulsador marcha y paro | 2 | \$10 |
| Botón de paro emergencia | botón | 1 | \$10 |
| Terminales tipo Puntero | 100 unidades en un paquete | 2 | \$5 |
| Caja para pulsador y botón | caja de 2 y 1 pulsadores | 2 | \$10 |
| Relé | bobina de 120v | 1 | \$7 |
| Socket para relé de potencia | socket | 1 | \$3 |
| Puente para bornera | Bornera para riel ding | 16 | \$9 |
| Puente para bornera | puente jumper | 8 | \$6 |
| SUBTOTAL MAQUETA | | | \$1848.48 |
| Mano de obra | corte láser de acero inoxidable | 1 | \$130 |
| Mano de obra | corte láser de acrílico de 5mm | 1 | \$25 |
| transporte | transporte público y gasolina | | \$55 |
| Alimentación | | | \$100 |
| Gastos varios | horas de trabajo | 350 horas | \$130 |
| SUBTOTAL COSTOS LOGÍSTICOS | | | \$4405 |
| TOTAL(MAQUETA + COSTOS LOGÍSTICOS) | | | \$2288.48\$ |

X. CONCLUSIONES

La implementación de la maquina trituradora de vidrio cumple con el objetivo de reducir el tamaño de las botellas al rango deseado. Tritura las botellas con un margen de error no mayor al 15 %, tal como se estableció en los objetivos. Además, el tamaño de las partículas resultantes entra en la categoría de trituración fina, con un rango entre 6,5 mm y 9mm, lo que asegura una consistencia adecuada en los fragmentos de vidrio obtenidos.

La bascula cumple la meta establecida de pesar cada lote de vidrio triturado con un margen de error inferior al 15 %. La bascula, conectada al PLC, proporciona mediciones en tiempo real del peso del vidrio triturado, así como el peso total al finalizar cada ciclo de procesamiento.

Los resultados obtenidos a través de las pruebas físicas demuestran que la maquina trituradora opera de manera conjunta, tanto en la parte de trituración como en el pesaje de los fragmentos de vidrio, con una eficiencia superior al 85 %. Por lo tanto, es capaz de realizar la operación automatizada de trituración y pesaje de manera efectiva, cumpliendo con los requisitos de reciclaje y procesamiento de las botellas de vidrio.

A través de pruebas y validaciones, se concluye que la maquina ofrece una solución eficiente y sostenible para el manejo de residuos de vidrio triturado. Su diseño reduce el tiempo de procesamiento y aumenta la capacidad de reciclaje, lo que la convierte en una opción viable y practica para el tratamiento de desechos de vidrio.

XI. RECOMENDACIONES

Es esencial realizar mantenimiento regular tanto de la celda de carga y el modulo de amplificación, así como de la trituradora de vidrio. Esto incluye la calibración periódica, la revisión de las cuchillas y el molino tipo martillo para evitar fallos y asegurar la precisión de las lecturas.

Es crucial que los rodamientos y las chumaceras estén correctamente lubricadas. Este proceso debe realizarse diariamente, y mensualmente se debe realizar una inspección de las conexiones eléctricas y mecánicas para evitar fallos durante el funcionamiento.

Se debe asegurar que la criba y las cuchillas se mantengan limpias de residuos de vidrio que puedan acumularse para que no afecte la eficiencia de la operación. La limpieza de la criba se recomienda que sea una tarea diaria para así ayudar a evitar la obstrucción y el mal rendimiento.

Se recomienda que el personal que opere el sistema el sistema reciba capacitación adecuada sobre el funcionamiento y el mantenimiento tanto del sistema de pesaje como de la trituradora. Esto incluye el manejo de HMI, la interpretación de las lecturas de peso y las practicas seguras de operación de la trituradora.

Para facilitar la comprensión y el uso del sistema, se sugiere mejorar la interfaz HMI, haciéndola mas intuitiva y amigable para el usuario. Esto podría incluir la incorporación de gráficos, alertas visuales y manuales de usuarios detallados.

Se debe registrar cualquier anomalía encontrada durante las inspecciones y realizar las correcciones necesarias lo antes posible. Esto evitara mayores problemas que podrían derivar en el paro de la maquina o en un desgaste temprano de algunos componentes.

REFERENCIAS

- [1] O. Enrique, *Diseño de una planta clasificadora de residuos solidos urbanos para la empresa publica municipal mancomunada del pueblo Cañari de los cantones: Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal en el año 2014*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2015, 2015. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8979>.
- [2] E. Comercio, *Los envases de vidrio ganan espacio entre los consumidores nacionales*. Guayaquil, Ecuador: Diario El Comercio, 2012. dirección: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/envases-de-vidrio-ganan-espacio.html>.
- [3] I. Alarcón, *Obstáculos para reciclaje de vidrio en el Ecuador*, Guayaquil, Ecuador, 2022. dirección: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/obstaculos-reciclaje-vidrio-plastico-ecuador.html>.
- [4] M. Carlos y B. Asuncion, *Diseño e Implementacion de maquinaria selectora de botellas de vidrio de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Universidad politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021.
- [5] W. Lu y J. Chen, *Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research*. Hong Kong, China: Waste Management, vol. 142, 2024. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X22000678>.
- [6] INTERNACO, *Qué es una máquina trituradora, para qué sirve y ejemplos de trituradoras*. España: Internaco división medio ambiente, 2024. dirección: <https://internacomedioambiente.es/noticias/que-es-una-maquina-trituradora-para-que-sirve-y-ejemplos-de-trituradoras/>.
- [7] F. L. Aquino, *Trituradora de Vidrio, diseño y construcción de una trituradora de vidrio*. Ecuador: Universidad Estatal de Milagro, 2011. dirección: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol4iss5.2011pp70-79p>.
- [8] FOETH, *TRITURADORAS*. Bélgica: A. Foeth BV, 2024. dirección: <https://www.foeth.com/es/trituradoras/>.
- [9] C. C. O. YESID y F. D. H. STIVEN, *OPTIMIZACIÓN DE EQUIPO TRITURADOR DE ENVASES DE VIDRIO CON CAPACIDAD 130 kg/h, PARA LA EMPRESA SCHOTT ENVASES FARMACEUTICOS S.A.S.* Colombia: Universidad Antonio Nariño, 2021. dirección: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5063>.
- [10] R. F. J. Andrés, C. M. J. Rodrigo, V. M. J. Fernando y U. M. J. Fernando, *Diseño y manufactura de trituradora de vidrio para centro de acopio en calle Navidad, Panajachel, Sololá*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala, 2018. dirección: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3489>.
- [11] C. A. G. Fabian, *DISEÑO Y ESTUDIO DE UNA ESTACIÓN TRITURADORA DE VIDRIO (CINTAS TRANSPORTADORAS, TOLVA, TRITURADORA Y ACCIONAMIENTOS)*. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2018. dirección: <http://hdl.handle.net/10251/106606>.
- [12] P. A. N. Alexander y Z. P. C. Alberto, *Diseño y Selección de Equipos para una Planta Trituradora de Vidrio*. Ecuador: Universidad Politécnica del litoral, 2021. dirección: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54746>.
- [13] A. Carriel, L. Andrés y M. L. Ernesto, *Diseño de una Trituradora de Martillos para Reciclar Botellas*. Ecuador: Universidad Politécnica del Litoral - ESPOL, 2024. dirección: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6491>.
- [14] L. Ya y H. Jiming, *Design Optimization of Hammer Blade Crusher to Improve the Crushing Performance*. China: Journal of Engineering Research y Reports, 2023. dirección: 10.9734/jerr/2023/v25i6930.
- [15] V. Q. Osmer, *Estimación de la vida útil del eje de accionamiento de una trituradora de impacto de eje horizontal a través del análisis de falla por fatiga*. Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2019. dirección: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1769>.
- [16] D. T. MFL, *Diferentes técnicas de trituración*. Austria: MASCHINENFABRIK LIEZEN UND GIESSEREI GES.M.B.H, 2020. dirección: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/82439/Tecnicas_de_Trituracion.pdf.
- [17] E. G. Moreno, *Automatización de procesos industriales*. España: Universidad politécnica de Valencia, 2020. dirección: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ba85b785-46cb-49e6-a006-a8626d4177e1/TOC_4116_01_01.pdf?guest=true.

- [18] G. F. M. Feijoó, *Control de un variador de frecuencia altivar 320 con PLC Modicon m241 a través de comunicación Modbus RTU para el laboratorio de automatización industrial*. Ecuador: Universidad politécnica Salesiana, 2022. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22665>.
- [19] M. Zapata, L. Topón-Visarrea, and É. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/2226/2/Libro%20Fundamentos%20automatizacion.pdf>.
- [20] Florelva Rozo-García, *Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/10720>.
- [21] S. R. Rallabandi, S. Yanda, J. Rao, B. Ramakrishna y D. Apparao, *Development of a color-code sorting machine operating with a pneumatic and programmable logic control*. India: Mater Today Proc, 2023. dirección: doi:10.1016/j.matpr.2023.05.150.
- [22] R. Singh y H. K. Verma, *Development of PLC-Based Controller for Pneumatic Pressing Machine in Engine-Bearing Manufacturing Plant*. India: Procedia Computer Science, Elsevier B.V, 2018. dirección: doi:10.1016/j.procs.2017.12.059.
- [23] E. Q. Mendoza, *Implementación de un módulo electrónico relé de sincronización en tablero eléctrico para mejorar el sistema de motor síncrono en la empresa Mixercon SA-2020*. Perú: Universidad técnica de Perú, 2021. dirección: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5616>.
- [24] Fuji Electric, *Relé de 11 pines 220vc schnneider*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.grupodebiase.com/control/9361-control-rele-11-pines-220-vac-3-na-nc-schneider-rumc3ab1p7-rumc31p7.html>.
- [25] Fuji Electric, *Rele de estado solido*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.fujielectric.fr/es/tecnologias/rele-estatico/>.
- [26] Retelec, *Relé de estado sólido*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://retelec.com/producto/reles-de-estado-solido-monofasicos/>.
- [27] V. H. M. Burgos y N. M. S. Changallimbai, *Diseño e Implementación de un Sistema de Protección contra Sobrecorriente en una Red de Distribución Mediante el uso de Relé SEL-751 y SEL-3530 RTAC*. Ecuador: Universidad politécnica Salesiana, 2021. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20834>.
- [28] Weg, *Relé de sobrecarga*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Controls/Protecci%C3%B3n-y-Control-de-Motores/Rel%C3%A9s-de-sobrecarga/RW---Rel%C3%A9s-de-sobrecarga-t%C3%A9rmico/Rel%C3%A9s-de-Sobrecarga-T%C3%A9rmico-RW/p/MKT_WDC_GLOBAL_THERMAL_OVERLOAD_RELAYS_RW.
- [29] Aliexpress, *Celda de carga CB067 5K*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://es.aliexpress.com/i/33043258113.html>.
- [30] A. Solimar, *Diseño de investigación para un plan de mantenimiento preventivo para tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2024. dirección: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18132/>.
- [31] ENC, *Variador de frecuencia*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <http://inverteracdrives.com/1-1-flux-vector-variable-frequency-drive.html>.
- [32] V. A. S. Tapia, *Diseño de un sistema SCADA con control remoto, usando un controlador lógico programable (PLC), un sistema CCTV, un servidor VNC y el software Team Viewer, aplicado a la seguridad residencial*. Perú: Escuela profesional de ingeniería electronica, 2020. dirección: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11509>.
- [33] IndustriasGSL, *¿Qué es un PLC y cómo funciona?* Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>.
- [34] V. B. Simbaqueva y C. A. C. Parada, *Tablero de control didáctico para motores trifásicos*. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia, 2020. dirección: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/34272>.
- [35] Balbinoehijos, *Motores trifásicos*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: https://www.balbinoehijos.com/index.php?option=com_hikashop&ctrl=product&task=show&cid=45&name=motores-trifasicos&Itemid=144&category_pathway=35&lang=es.

- [36] J. M. Barroso-Molero, *Diseño de una reductora de velocidad para cinta transportadora industrial*. España: Universidad de Jaen, 2022. dirección: <https://hdl.handle.net/10953.1/16439>.
- [37] Proindserv, *Caja reductora*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://proindserv.com.ec/caja-reductora/>.
- [38] J. A. N. Rivera, *Diseño de una interfaz hombre máquina para la medición y control de parámetros de corte en una máquina CNC*. Ecuador: Universidad Técnica del norte, 2022. dirección: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13146>.
- [39] Proface, *Interfaz virtual hombre máquina*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: https://www.proface.com/en/product/soft/remotehmi_client/top.
- [40] Naylamp Mechatronics, *Sensor de proximidad capacitivo NPN*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/295-sensor-de-proximidad-capacitivo-ljc30a3-h-zbx-npn-no.html>.
- [41] Naylamp Mechatronics, *Sensor de proximidad capacitivo PNP*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/296-sensor-de-proximidad-capacitivo-ljc18a3-h-zbx-npn-no.html>.
- [42] Camei, *Sensor capacitivo PNP*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.camei.com.ec/shop/product/si-6020476-sensor-capacitivo-diametro-30mm-alcance-sn-25mm-salida-pnp-4-hilos-cable-2-m-2843?page=4>.
- [43] Naylamp Mechatronic, *Sensor Inductivo PNP*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/589-sensor-de-proximidad-inductivo-lj12a3-4-zby-pnp-no.html>.
- [44] Novatronic, *Sensor inductivo NPN*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://novatronic.com/index.php/product/sensor-inductivo-npn-no-8mm-lj18a3-8z-bx-6-36v/>.
- [45] robotics, *Sensor inductivo NPN*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://roboticsec.com/producto/sensor-inductivo-lj12a3-4-z-bx-npn-5vdc/>.
- [46] Keyence, *Sensor de reflexion*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/#:~:text=Un%20sensor%20fotoel%C3%A9ctrico%20de%20tipo,al%20cruzar%20el%20eje%20%C3%B3ptico..>
- [47] automaq, *Sensor de reflexión*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: [https://automaq.pe/producto/5497/\[object%20Object](https://automaq.pe/producto/5497/[object%20Object).
- [48] Wenglor, *Sensores de barrera de luz*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.wenglor.com/es/Sensores/Sensores-optoelectronicos/Sensores-de-barrera/c/cxmCID200923..>
- [49] directindustry, *Sensor de barrera de luz*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.directindustry.es/prod/panasonic-electric-works-europe/product-14692-1697289.html>.
- [50] Geya, *Diferentes tipos de sensores de proximidad y sus aplicaciones*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.geya.net/es/different-types-of-proximity-sensors/#:~:text=Aplicaci%C3%B3n%3A%20Los%20sensores%20%C3%B3pticos%20de,dispositivos%20de%20control%20de%20acceso>.
- [51] weg, *Sensor de proximidad óptico*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fontes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-Fotoel%C3%A9ctricos/Sensores-%C3%93pticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_OPTIC_SENSORS.
- [52] directindustry, *Sensor de distancia (láser)*, Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.directindustry.es/prod/banner-engineering-corp/product-7106-1698015.html>.
- [53] Tecnoseguro, *¿Que es un sensor de imagen?* Accedido: 7-08-2024, 2024. dirección: <https://www.tecnoseguro.com/faqs/cctv/que-es-un-sensor-de-imagen>.
- [54] D. S. Q. Parra e Y. I. S. Calderón, *Formulación del diseño de una planta para la disposición final de residuos sólidos urbanos en Pereira*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2020. dirección: <https://repositorio.utp.edu.co/items/27aaef3c-7d91-49a7-beaf-1c8a97e4517d>.
- [55] Y. Martsishko, *Diseño e implementación de placas para prácticas de electrónica mediante la utilización de dispositivos LDO y módulos conmutados*. España: Universidad Politécnica de Cartagena, 2020. dirección: <https://repositorio.upct.es/entities/publication/6695aa28-d3fd-4677-b2be-1dedafafa2a0..>

- [56] Todo micro tecnología en tu mano, *Modulo Amplificador Hx711 Para Celda De Carga*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://www.todomicro.com.ar/sensores/759-modulo-amplificador-hx711-para-celda-de-carga.html>.
- [57] Y. Martsishko, *Acondicionamiento de célula de carga mediante modulación-demodulación síncrona*. España: Universidad de Alcalá, 2020. dirección: <http://hdl.handle.net/10017/57993>.
- [58] G. E. F. Carrasco, *Acondicionamiento de señales para la compatibilidad de las celdas de carga en los Microcontroladores PIC*. Honduras: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA DE TEGUCIGALPA, 2020. dirección: <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/9772>.
- [59] Futek, *Celda de carga de anillo*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://www.futek.com/tipos-de-celda-de-carga>.
- [60] L. G. Álvarez, *Montaje y calibración de un sistema de galgas extensiométricas para la medición de deformaciones en estructuras metálicas*. España: Universidad de Almería, 2020. dirección: <http://hdl.handle.net/10835/9838>.
- [61] Galoce, *GML611 Micro Load Cell*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://www.galoce.com/Products/GML611>.
- [62] L. F. T. Chariguaman, *Implementación de un medidor de peso mediante el uso de PLC S7-1200 y módulo Siwarex WP231, para el monitoreo de la dosificadora de granos Indumak DG1000 del área de enfundado de la Empresa Cereales la Pradera*. Ecuador: Universidad de las fuerzas armadas, 2024. dirección: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26404/1/M-ESPEL-ENT-0405.pdf>.
- [63] N. Mechatronics, *Módulo HX711 Transmisor de celda de carga*. Ecuador: Naylamp mecatronics, 2018. dirección: <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>.
- [64] Orellanaelec, *Módulo de amplificación ADC HX711*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-sensor-de-presion-hx711/>.
- [65] G. E. N. España y J. J. Q. Silva, *Diseño e implementación de un sistema de pesaje con acceso a base de datos con tecnología rfid y reportería por medio de una red local*. Ecuador: Universidad politécnica Salesiana, 2018. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16822>.
- [66] Sanmaparts, *Módulo de pesaje DVP02LC*, Accedido: 6-08-2024, 2024. dirección: <https://www.sanmaparts.com/es/m%C3%B3dulos-de-pesaje-delta/28985-modulo-de-celda-de-carga-de-expansion-de-alta-velocidad-para-plc-de-doble-canal-sa-se-sx-sv.html>.
- [67] Elle Chaco, *Industrias 1 Trituración*, Accedido: 26-08-2024, 2024. dirección: <https://ele.chaco.gob.ar/mod/resource/view.php?id=235565>.
- [68] Arisac, *Vidrio triturado*, Accedido: 26-08-2024, 2024. dirección: <https://arisac.com/productos/vidrio-triturado>.
- [69] G. P. y F. G, *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CINTA TRANSPORTADORA PARA LA SIMULACIÓN MECÁNICA DE UN PROCESO INDUSTRIAL*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2008. dirección: <http://saber.ucv.ve/handle/10872/6910>.
- [70] C. T. O. Andrés y M. T. L. Octavio, *Diseño de un molino de rodillos triturador de grano*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2020. dirección: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8036>.
- [71] M. A. A. Alfonso, *Diseño del mecanismo triturador de un molino de martillos para el procesamiento de vidrio reciclado usando MEF*. Colombia: Universidad de Pamplona, Pamplona, 2022. dirección: <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4133>.
- [72] M. A. J. Vladimir y O. C. A. Elizabeth, *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de 15 qq/h de mineral pétreo para producir biofertilizantes*. Ecuador: Universidad politécnica Salesiana, 2018. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15963>.
- [73] M. F. B. Egas, M. K. E. Hernandez y J. R. C. SORIA, *AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APERTURA DEL RODILLO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ALIMENTO ANIMAL DE LA EMPRESA PRONACA PUEMBO*. Ecuador: Universidad Israel, 2020. dirección: <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2425>.

- [74] M. A. L. Cardona, H. G. Mosquera y L. I. Camilo, *Análisis del comportamiento de vidrio reciclado como remplazante al agregado fino, para el diseño de la estructura de pavimento flexible*. Ecuador: Universidad cooperativa de Colombia, 2023. dirección: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/52936>.
- [75] A. V. C. Toaquiza, *Implementación de una máquina trituradora de botellas de plástico en la empresa ecom en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas para minimizar la contaminación ambiental*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2022. dirección: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8464>.
- [76] Bonfiglioli, *BN 80A 4 230/400-50 IP55 CLF B14*, Accedido: 20-08-2024, 2024. dirección: <https://shop.bonfiglioli.com/store/bonfigliolib2c/es/product/000000000830820156?srltid=AfmBOopACx3iZk3MhcKSdVsOzuGiHQCj8mrsy2zGCmlgX>.
- [77] N. Dubon, *Factores de Servicios en Bandas de Transmisión Tablas y Gráficos*, Accedido: 20-08-2024, 2024. dirección: <https://es.scribd.com/document/545579953/factores-de-servicios-en-bandas-de-transmision-Tablas-y-Graficos>.
- [78] Catálogo para diseño de cadena de rodillos, *Catálogo para diseño de cadena de rodillos*, Accedido: 21-08-2024, 2024. dirección: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-simon/elementos-de-maquinas-i/catalogo-para-diseno-de-cadena-de-rodillos/99069383>.
- [79] SKF, *Catálogo rodamientos*, Accedido: 21-08-2024, 2022. dirección: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf.
- [80] L. A. C. Quinga y V. S. M. Guaña, *Diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora para botellas plásticas PET reciclables con capacidad de 5kg/h*. Guayaquil: Universidad politécnica Salesiana, 2021. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20770>.
- [81] M. Persepsi and Terhadap Perawatan Ortod, *Manual of STEEL CONSTRUCTION*, Accedido: 2-09-2024, 2013. dirección: https://www.16streets.com/39-B/PDF%20files/AISC_Steel_construction_manual_fourteenth_edition.pdf.
- [82] Sumitec, *Acero estructura ASTM A36*, Accedido: 21-08-2024, 2024. dirección: <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>.
- [83] Shigley, *Diseño en ingeniería Mecánica*, Accedido: 22-08-2024, 2015. dirección: <https://termoaplicadaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edici3b3n-budynas.pdf>.
- [84] The state university of new jersey, *The mechanical properties of glass*, Accedido: 22-08-2024, 2024. dirección: <https://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf>.
- [85] Sumitec, *HARDOX 450*, Accedido: 29-08-2024, 2024. dirección: <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE12.pdf>.
- [86] Kefren Group, *ACERO INOXIDABLE AISI 304*, Accedido: 25-08-2024, 2024. dirección: <https://grupokefren.com/materiales/metales/acero-inoxidable-aisi-304/>.
- [87] Grupo Grumeber, *Acero inoxidable AISI 304*, Accedido: 29-08-2024, 2024. dirección: <https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304/>.
- [88] Universidad del rodamiento, *Calculo de duracion de vida*, Accedido: 23-08-2024, 2024. dirección: <https://launiversidaddelrodamiento.es/seleccion-rodamientos-calculo/calculo-duracion-vida/>.
- [89] NSK, *Catálogo General de rodamientos*, Accedido: 22-08-2024, 2024. dirección: <https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>.
- [90] Schaeffler, *Datos de rendimiento UCFL-205*, Accedido: 22-08-2024, 2024. dirección: <https://medias.schaeffler.es/es/producto/housings/soportes/soportes-com-rodamientos-autoalineables/soportes-brid-a-de-agujeros/ucfl205-j7/p/403604>.
- [91] Concret online, *Calculo de la superficie de cribado*, Accedido: 26-08-2024, 2024. dirección: <https://www.concretonline.com/canteras-graveras/calculo-de-la-superficie-de-cribado>.
- [92] ISO, *ISO STANDARDS*, Accedido: 26-08-2024, 2024. dirección: <https://www.iso.org/store.html>.

ANEXO A
TABLA DE LAS CADENAS ANSI #50

En la siguiente figura 126 se observa el número de cadena y de paso que se ha escogido.

| Paso 5/8" No. 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|------|--------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| No. de Dientes del Sprocket Menor | REVOLUCIONES POR MINUTO - SPROCKET MENOR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 50 | 100 | 300 | 500 | 900 | 1200 | 1400 | 1800 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 |
| 11 | 0.45 | 0.84 | 2.25 | 3.57 | 6.06 | 7.85 | 8.13 | 5.58 | 4.42 | 3.62 | 3.04 | 2.59 | 2.06 | 1.68 | 1.41 | 1.20 | 1.04 | 0.92 |
| 12 | 0.49 | 0.92 | 2.47 | 3.92 | 6.65 | 8.62 | 9.26 | 6.35 | 5.04 | 4.13 | 3.46 | 2.95 | 2.34 | 1.92 | 1.61 | 1.37 | 1.19 | 1.04 |
| 13 | 0.54 | 1.00 | 2.70 | 4.27 | 7.25 | 9.40 | 10.4 | 7.16 | 5.69 | 4.65 | 3.90 | 3.33 | 2.64 | 3.16 | 1.81 | 1.55 | 1.34 | ... |
| 14 | 0.58 | 1.09 | 2.92 | 4.63 | 7.86 | 10.2 | 11.7 | 8.01 | 6.35 | 5.20 | 4.36 | 3.72 | 2.95 | 2.42 | 2.03 | 1.73 | 1.50 | ... |
| 15 | 0.73 | 1.17 | 3.15 | 4.99 | 8.47 | 11.0 | 12.6 | 8.88 | 7.05 | 5.77 | 4.83 | 4.13 | 3.27 | 2.68 | 2.25 | 1.92 | 1.66 | ... |
| 16 | 0.67 | 1.26 | 3.38 | 5.35 | 9.08 | 11.8 | 13.5 | 9.78 | 7.76 | 6.35 | 5.32 | 4.55 | 3.61 | 2.95 | 2.47 | 2.11 | 1.83 | ... |
| 17 | 0.72 | 1.34 | 3.61 | 5.71 | 9.69 | 12.6 | 14.4 | 10.7 | 8.50 | 6.96 | 5.83 | 4.98 | 3.95 | 3.23 | 2.71 | 2.31 | 2.01 | ... |
| 18 | 0.76 | 1.43 | 3.83 | 6.07 | 10.3 | 13.4 | 15.3 | 11.7 | 9.26 | 7.58 | 6.35 | 5.42 | 4.30 | 3.52 | 2.95 | 2.52 | ... | ... |
| 19 | 0.81 | 1.51 | 4.07 | 6.44 | 10.9 | 14.2 | 16.3 | 12.7 | 10.0 | 8.22 | 6.89 | 5.88 | 4.67 | 3.82 | 3.20 | 2.73 | ... | ... |
| 20 | 0.86 | 1.60 | 4.30 | 6.80 | 11.5 | 15.0 | 17.2 | 13.7 | 10.8 | 8.88 | 7.44 | 6.35 | 5.04 | 4.13 | 3.46 | 2.95 | ... | ... |
| 21 | 0.90 | 1.69 | 4.53 | 7.17 | 12.2 | 15.8 | 18.1 | 14.7 | 11.7 | 9.55 | 8.01 | 6.84 | 5.42 | 4.44 | 3.72 | 3.18 | ... | ... |
| 22 | 0.95 | 1.77 | 4.76 | 7.54 | 12.8 | 16.6 | 19.1 | 15.8 | 12.5 | 10.2 | 8.59 | 7.39 | 5.82 | 4.76 | 3.99 | 3.41 | ... | ... |
| 23 | 1.00 | 1.86 | 5.00 | 7.91 | 13.4 | 17.4 | 20.0 | 16.9 | 13.4 | 11.0 | 9.18 | 7.84 | 6.22 | 5.09 | 4.27 | ... | ... | ... |
| 24 | 1.04 | 1.95 | 5.23 | 8.29 | 14.1 | 18.2 | 20.9 | 18.0 | 14.3 | 11.7 | 9.78 | 8.35 | 6.33 | 5.42 | 4.55 | ... | ... | ... |
| 25 | 1.09 | 2.03 | 5.47 | 8.66 | 14.7 | 19.0 | 21.9 | 19.1 | 15.2 | 12.4 | 10.4 | 8.88 | 7.05 | 5.77 | 4.83 | ... | ... | ... |
| 26 | 1.14 | 2.12 | 5.70 | 9.03 | 15.3 | 19.9 | 22.8 | 20.3 | 16.1 | 13.2 | 11.0 | 9.42 | 7.47 | 6.12 | 5.13 | ... | ... | ... |
| 28 | 1.23 | 2.30 | 6.18 | 9.79 | 16.6 | 21.5 | 24.7 | 22.6 | 18.0 | 14.7 | 12.3 | 10.5 | 8.35 | 6.84 | 5.73 | ... | ... | ... |
| 30 | 1.33 | 2.49 | 6.66 | 10.5 | 17.9 | 23.2 | 26.6 | 25.1 | 19.9 | 16.3 | 13.7 | 11.7 | 9.26 | 7.58 | ... | ... | ... | ... |
| 32 | 1.42 | 2.66 | 7.14 | 11.3 | 19.2 | 24.9 | 28.6 | 27.7 | 22.0 | 18.0 | 15.1 | 12.9 | 10.2 | 8.35 | ... | ... | ... | ... |
| 35 | 1.57 | 2.93 | 7.86 | 12.5 | 21.1 | 27.4 | 31.5 | 31.6 | 25.1 | 20.6 | 17.2 | 14.7 | 11.7 | 9.55 | ... | ... | ... | ... |
| 40 | 1.81 | 3.38 | 9.08 | 14.4 | 24.4 | 31.6 | 36.3 | 38.7 | 30.7 | 25.1 | 21.0 | 18.0 | 14.3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 45 | 2.06 | 3.84 | 10.3 | 16.3 | 27.7 | 35.9 | 41.3 | 46.1 | 36.6 | 30.0 | 25.1 | 21.4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Lubricación | Tipo A | | Tipo B | | Tipo C | | | | | | | | | | | | | |

- Tipo A Lubricación Manual.
- Tipo B Lubricación de Baño o Disco.
- Tipo C Lubricación de Chorro de Aceite.

Figura 126. Número de cadenas ANSI #50 [78]

ANEXO B
TABLA DE PROPIEDADES DEL TUBO CUADRADO

En la siguiente figura 127 se observa las propiedades del tubo cuadrado que se selecciona.

| Designaciones | | Área | Peso | Propiedades Estáticas | | |
|---------------|------|-----------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | Eje x-x = y-y | | |
| | | | | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| B | e | A | P | I | W | I |
| mm | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm |
| 40 | 1,40 | 2,11 | 1,66 | 5,18 | 2,59 | 1,57 |
| | 1,50 | 2,25 | 1,77 | 5,49 | 2,75 | 1,56 |
| | 1,80 | 2,67 | 2,09 | 6,39 | 3,19 | 1,55 |
| | 2,00 | 2,90 | 2,31 | 6,95 | 3,47 | 1,54 |
| | 2,50 | 3,59 | 2,82 | 8,23 | 4,12 | 1,51 |
| | 3,00 | 4,21 | 3,30 | 9,36 | 4,68 | 1,49 |
| | 4,00 | 5,35 | 4,20 | 11,18 | 5,59 | 1,45 |
| | 1,40 | 2,67 | 2,10 | 10,42 | 4,17 | 1,97 |
| Designaciones | | Área | Peso | Propiedades Estáticas | | |
| | | | | Eje x-x = y-y | | |
| | | | | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| B | e | A | P | I | W | I |
| mm | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm |
| 90 | 1,80 | 6,27 | 4,92 | 80,71 | 17,94 | 3,59 |
| | 2,00 | 6,94 | 5,45 | 88,87 | 19,75 | 3,58 |
| | 2,50 | 8,59 | 6,74 | 108,57 | 24,13 | 3,56 |
| | 3,00 | 10,21 | 8,01 | 127,32 | 28,29 | 3,53 |
| | 4,00 | 13,35 | 10,48 | 162,02 | 36,01 | 3,48 |
| | 1,80 | 6,99 | 5,48 | 111,62 | 22,32 | 4,00 |
| | 2,00 | 7,74 | 6,07 | 123,01 | 24,60 | 3,99 |
| | 2,50 | 9,59 | 7,53 | 150,65 | 30,13 | 3,96 |

Figura 127. Propiedades del tubo cuadrado de 3mm [80]

ANEXO C

FACTOR DE ESTABILIDAD DE COLUMNA Y MOMENTO MÁXIMO DE LA VIGA

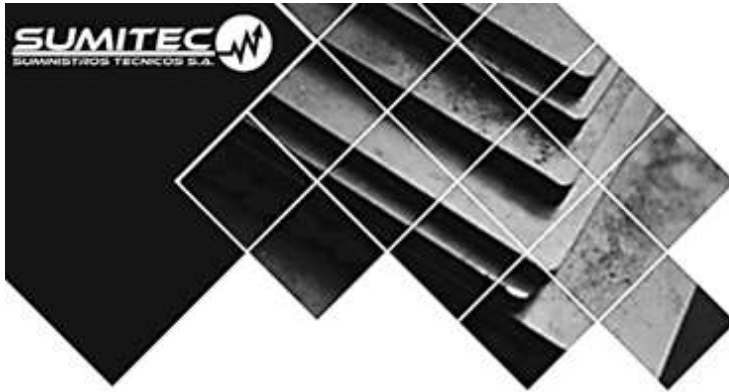
En la siguiente figura 128 se observa la tabla de la esbeltez

| <p align="center">TABLE C-A-7.1 Approximate Values of Effective Length Factor, K</p> | | | | | | |
|--|--|------|-----|-----|-----|-----|
| Buckled shape of column is shown by dashed line | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
| | | | | | | |
| Theoretical K value | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| Recommended design value when ideal conditions are approximated | 0.65 | 0.80 | 1.2 | 1.0 | 2.1 | 2.0 |
| End condition code | <ul style="list-style-type: none"> Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free | | | | | |

Figura 128. Tabla de esbeltez [81]

ANEXO D
 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36

En la siguiente figura 129 se observa la tabla de las propiedades del acero ASTM A36 hierro negro.



1. Descripción: Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.

2. Normas involucradas: ASTM A 36/A 36M - 04

3. Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C
0.60 – 1.20 % Mn
0.15 – 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

Figura 129. Tabla de propiedades acero ASTM A 36 [82]

ANEXO E

TABLA DE CARGAS CONSTANTES PERMISIBLES DE TAMAÑOS MÍNIMOS DE FILETE

En la siguiente figura 130 se observa la tabla de cargas constantes permisibles respecto a la soldadura de filete.

| Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX) | | | | | | | |
| | 60* | 70* | 80 | 90* | 100 | 110* | 120 |
| Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial | | | | | | | |
| $\tau =$ | 18.0 | 21.0 | 24.0 | 27.0 | 30.0 | 33.0 | 36.0 |
| Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal | | | | | | | |
| $^t f =$ | 12.73h | 14.85h | 16.97h | 19.09h | 21.21h | 23.33h | 25.45h |
| Tamaño del cateto h, pulg | Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal | | | | | | |
| 1 | 12.73 | 14.85 | 16.97 | 19.09 | 21.21 | 23.33 | 25.45 |
| 7/8 | 11.14 | 12.99 | 14.85 | 16.70 | 18.57 | 20.41 | 22.27 |
| 3/4 | 9.55 | 11.14 | 12.73 | 14.32 | 15.92 | 17.50 | 19.09 |
| 5/8 | 7.96 | 9.28 | 10.61 | 11.93 | 13.27 | 14.58 | 15.91 |
| 1/2 | 6.37 | 7.42 | 8.48 | 9.54 | 10.61 | 11.67 | 12.73 |
| 7/16 | 5.57 | 6.50 | 7.42 | 8.35 | 9.28 | 10.21 | 11.14 |
| 3/8 | 4.77 | 5.57 | 6.36 | 7.16 | 7.95 | 8.75 | 9.54 |
| 5/16 | 3.98 | 4.64 | 5.30 | 5.97 | 6.63 | 7.29 | 7.95 |
| 1/4 | 3.18 | 3.71 | 4.24 | 4.77 | 5.30 | 5.83 | 6.36 |
| 3/16 | 2.39 | 2.78 | 3.18 | 3.58 | 3.98 | 4.38 | 4.77 |
| 1/8 | 1.59 | 1.86 | 2.12 | 2.39 | 2.65 | 2.92 | 3.18 |
| 1/16 | 0.795 | 0.930 | 1.06 | 1.19 | 1.33 | 1.46 | 1.59 |

Figura 130. Tabla de propiedades acero ASTM A 36 [83]

ANEXO F
TABLA DE PROPIEDADES DEL VIDRIO

En la siguiente figura 131 se observa la tabla de propiedades del vidrio.

| Strength of Glass from Various Processes | | |
|---|------------|---|
| Condition of Glass | MPa | 10³ lb/in² |
| Surfaces ground or sandblasted | 10-28 | 1.5-4.0 |
| Pressed articles | 21-55 | 3.0-8.0 |
| Blown ware: | | |
| Hot iron molds | 28-62 | 4.0-9.0 |
| Paste molds | 35-69 | 5.0-10.0 |
| Inner surfaces | 104-280 | 15.0-40.0 |
| Drawn tubing or rod | 41-104 | 6.0-15.0 |
| Window glass | 55-138 | 8.0-20.0 |
| Fine fibers: | | |
| Annealed | 69-280 | 10.0-40.0 |
| Freshly drawn | 207-2758 | 30-400.0 |

*Effective duration of breaking load, 3 s.

Figura 131. Tabla de propiedades del vidrio [84]

ANEXO G

PROPIEDADES DEL METAL DE APORTE

En la siguiente figura 132 se observa la tabla de propiedades del metal de aporte.

Tabla 15 Propiedades del metal de aporte [30].

| Número de electrodo AWS | Resistencia a la tensión Kpsi (MPA) | Resistencia a la fluencia Kpsi (MPA) | Elongación porcentual |
|--------------------------------|--|---|------------------------------|
| E60xx | 62 (427) | 50 (345) | 17-25 |
| E70xx | 70 (482) | 57 (393) | 22 |
| E80xx | 80 (551) | 67 (462) | 19 |
| E90xx | 90 (620) | 77 (531) | 14-17 |
| E100xx | 100 (689) | 87 (600) | 13-16 |
| E120xx | 120 (827) | 107 (737) | 14 |

Figura 132. Propiedades del metal de aporte [83]

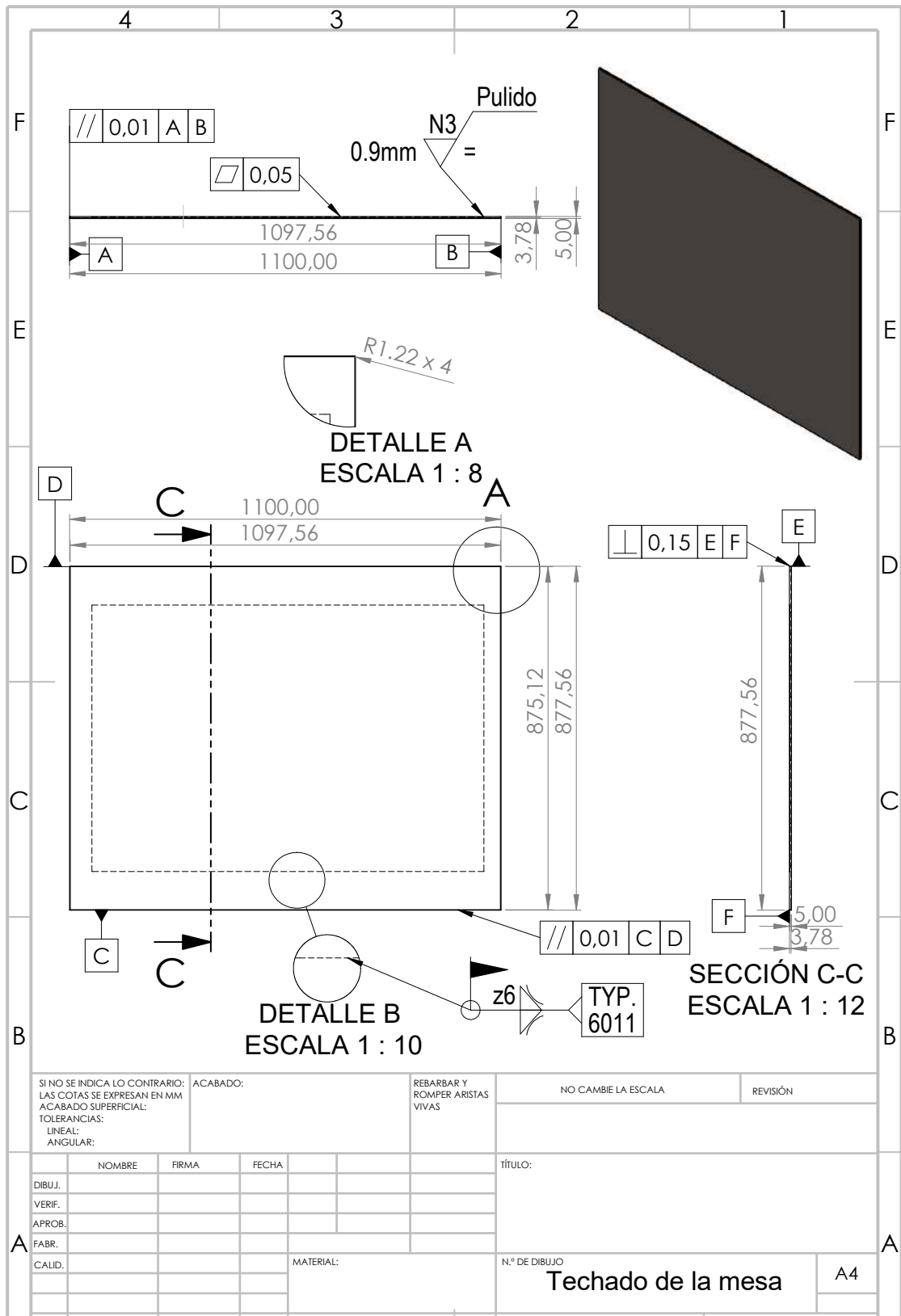


Figura 134. Plano del techado de la mesa. Fuente: Los autores.

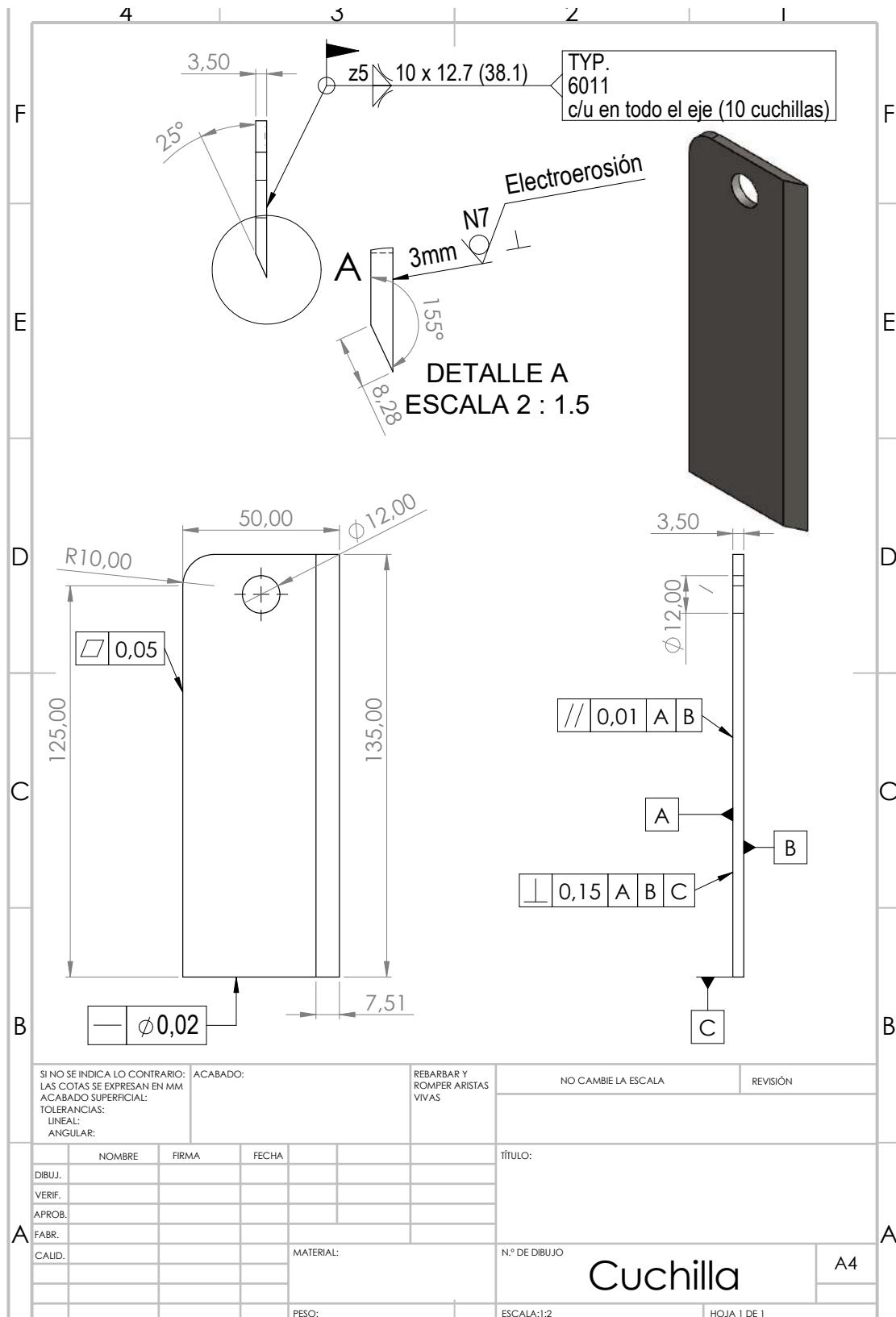


Figura 135. Plano de las cuchillas. Fuente: Los autores.

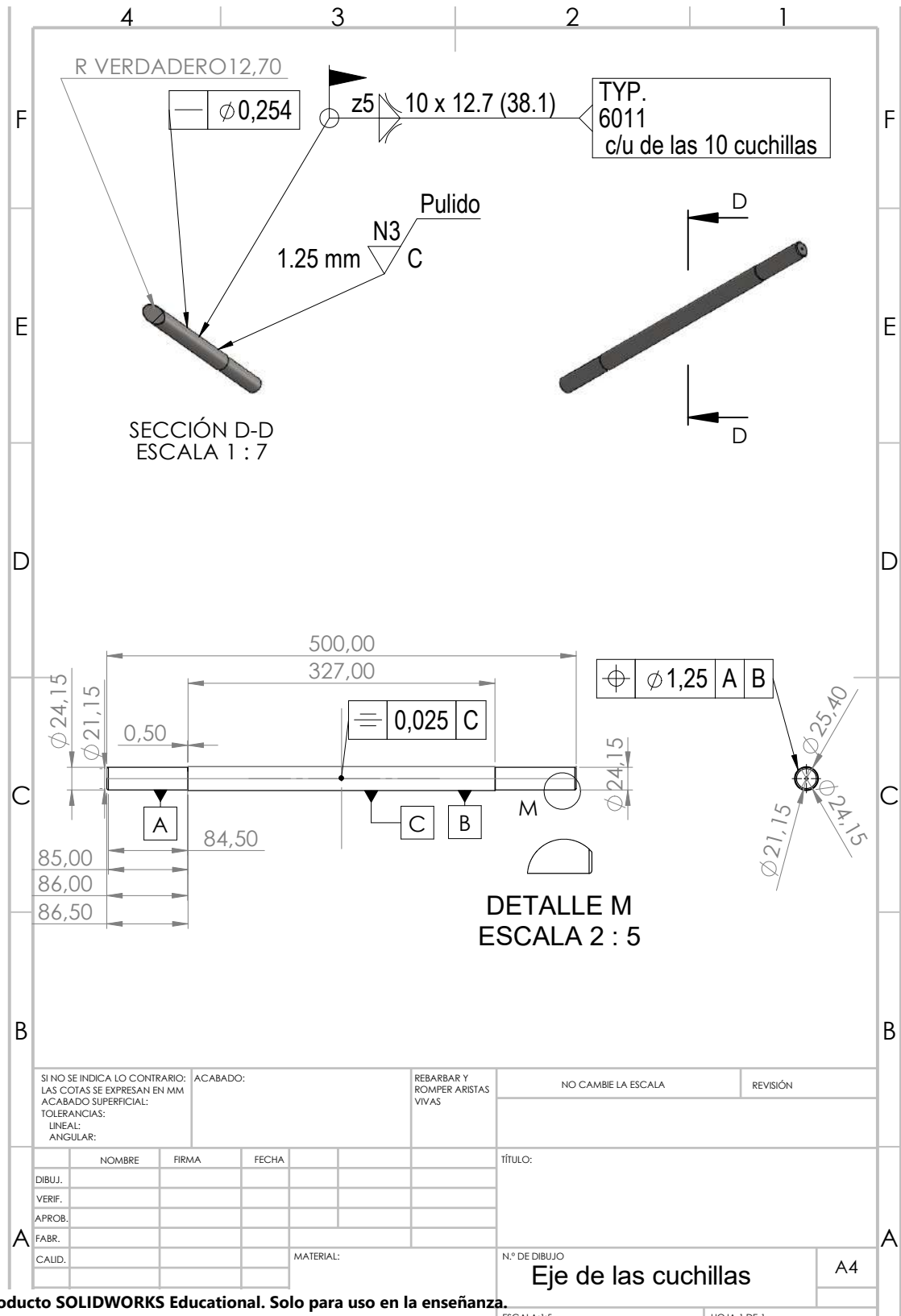


Figura 136. Plano del eje. Fuente: Los autores.

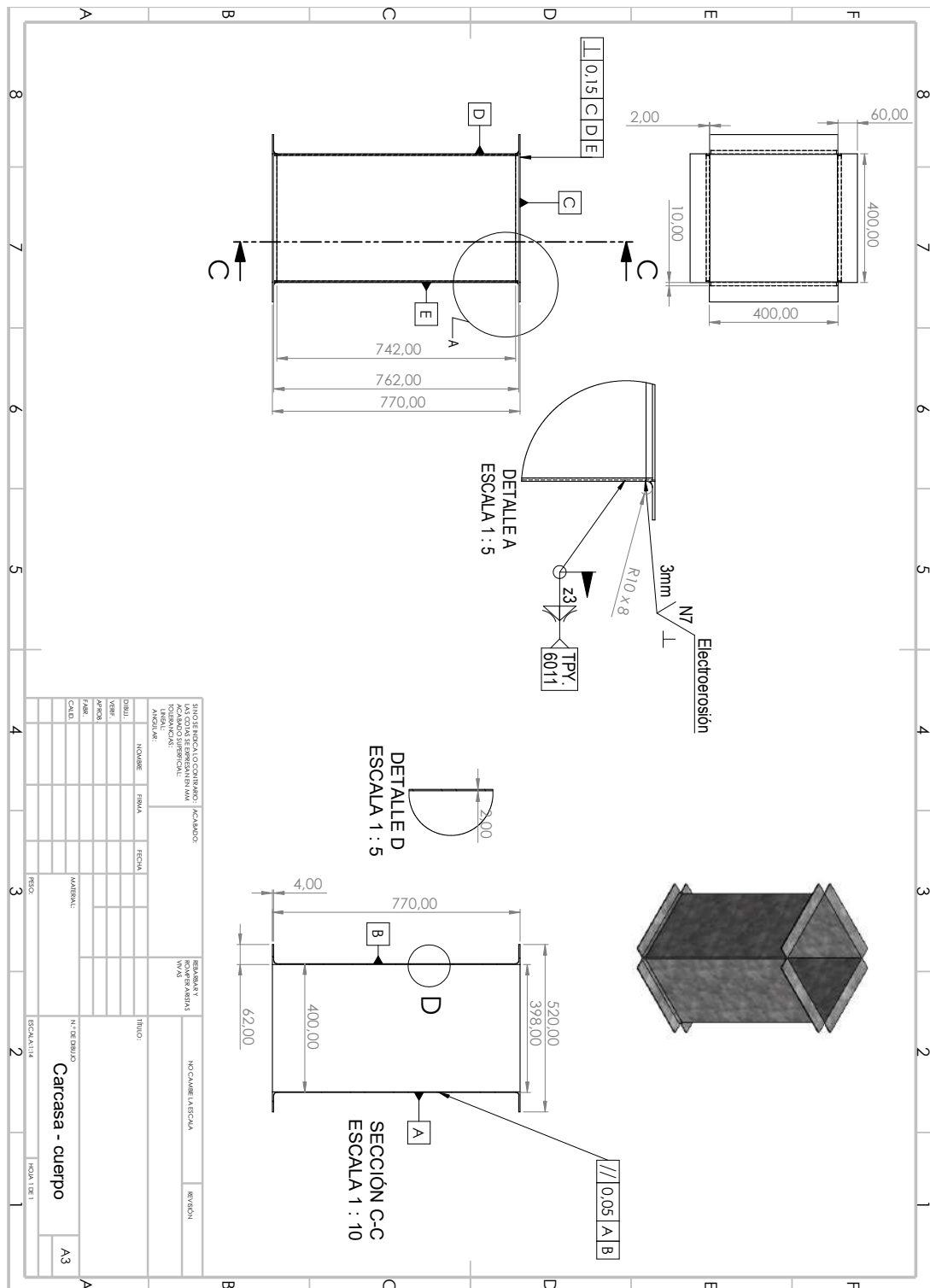


Figura 137. Plano de la carcasa - cuerpo. Fuente: Los autores.

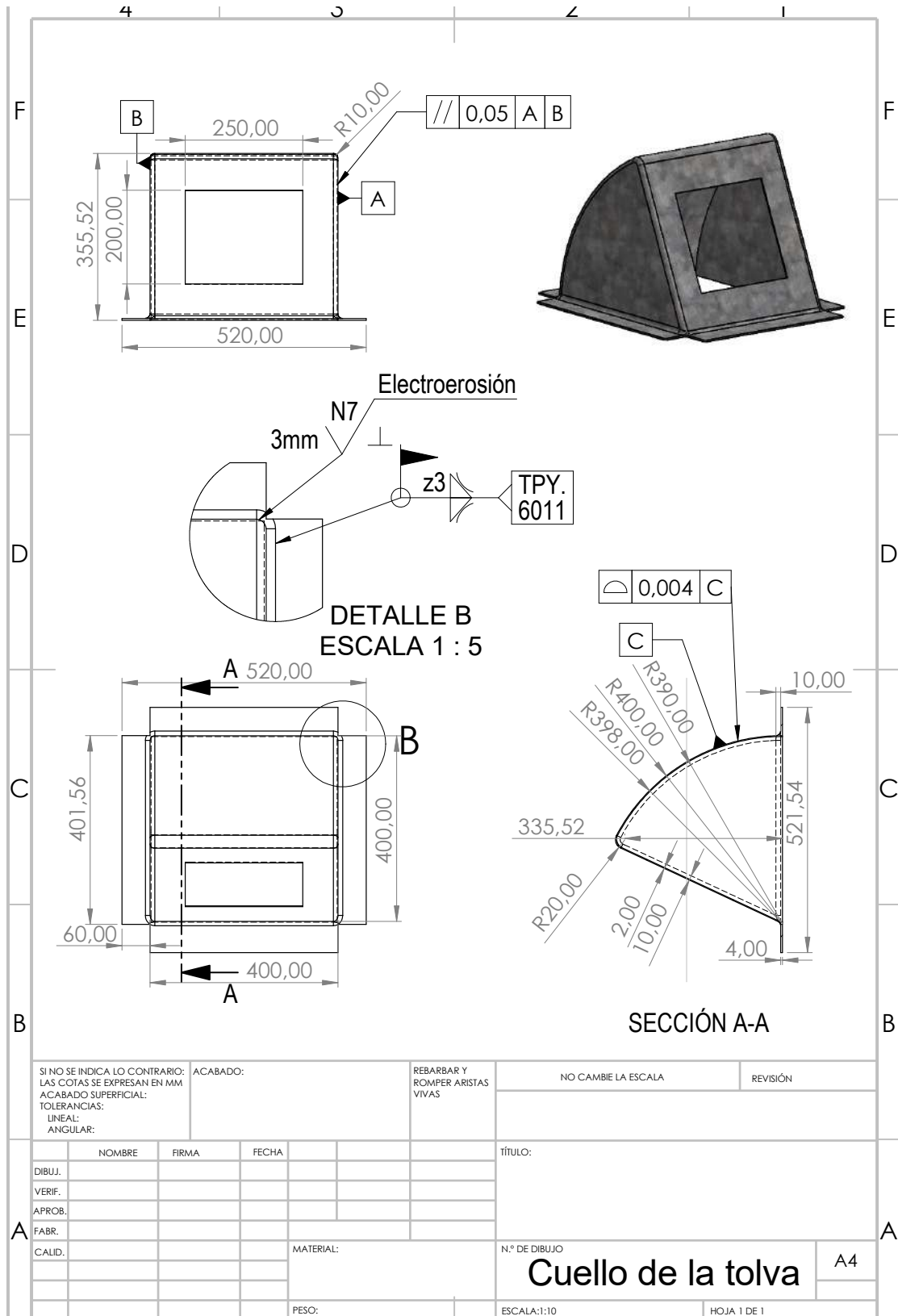


Figura 138. Plano del cuello de la tolva. Fuente: Los autores.

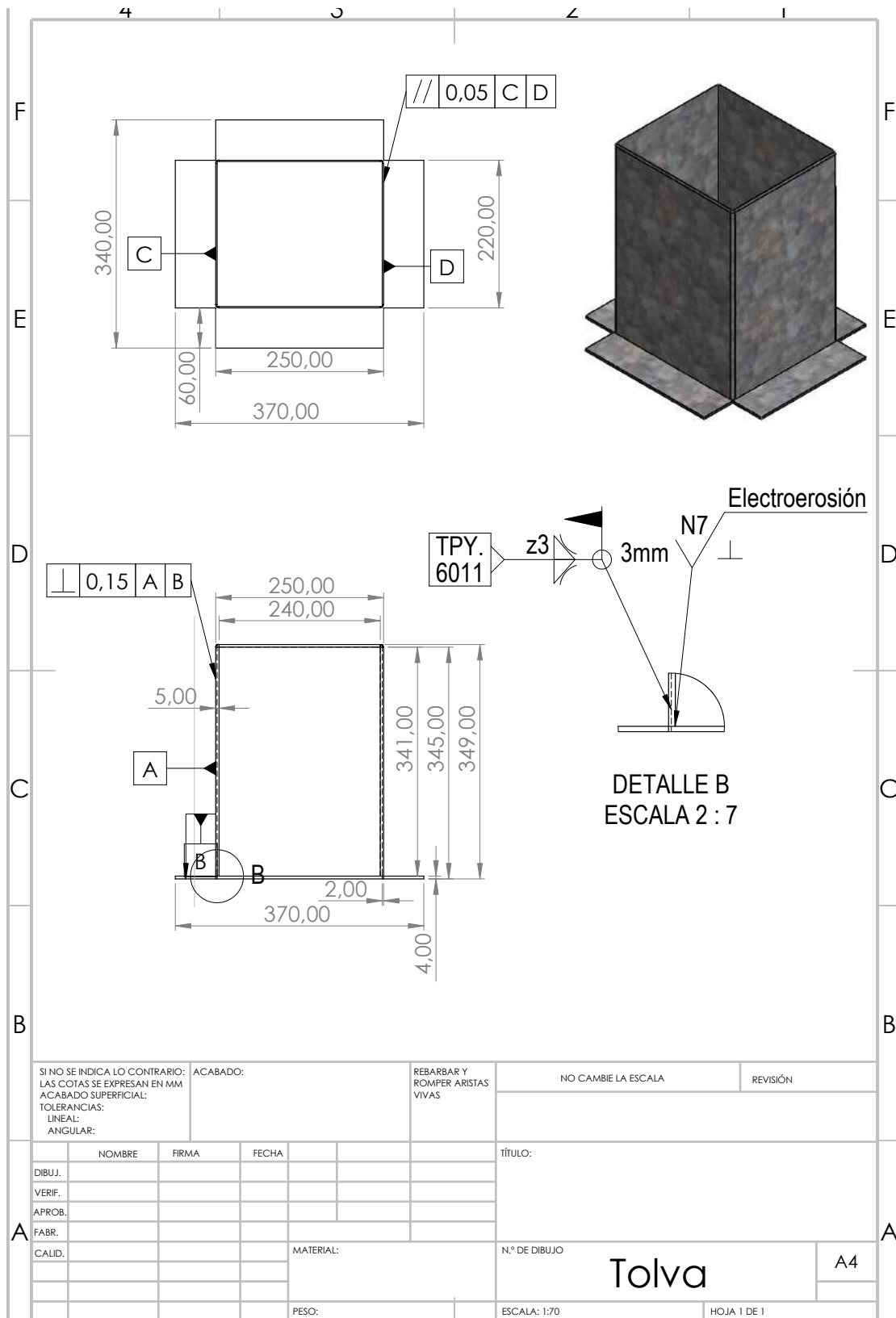


Figura 139. Plano de la tolva. Fuente: Los autores.

ANEXO I
MANUAL DE USUARIO

Máquina Trituradora de Vidrio

Instrucciones de Seguridad

- **Conexión eléctrica:** Conectar la máquina a una toma de corriente de 220V para el sistema de potencia.
- **Sistema de mando:** Conectar a una toma de corriente de 110V para el sistema de control.
- **Ubicación de la máquina:** Colocar la máquina en una superficie plana y estable, lejos de posibles fuentes de vibración.
- **Seguridad en las conexiones:** Asegúrate de que no haya conexiones eléctricas sueltas alrededor de la máquina.
- **Verificación de la tolva:** Antes de encender la máquina, asegúrate de que la tolva esté vacía.
- **Encendido:** Enciende el interruptor principal y deja que la máquina funcione en vacío durante 20 segundos antes de introducir material.
- **Material de alimentación:** Utiliza exclusivamente vidrio sódico-cálcico para triturar, evitando cualquier otro tipo de material.
- **Capacidad de la tolva:** No sobrepases la capacidad de la tolva indicada en la ficha técnica.
- **Mantenimiento del colector:** Vacía el colector de vidrio triturado cada vez que esté lleno para asegurar un funcionamiento continuo.
- **Indicadores luminosos:**
 - **Luz piloto verde:** Indica que la máquina está en funcionamiento normal.
 - **Luz piloto roja:** Indica que el motor se ha detenido, posiblemente por una sobrecarga.

A continuación la ficha técnica de la máquina trituradora de vidrio

| | | | |
|---|--|-----------------------------------|-----------------------|
| Ficha técnica de máquina trituradora de vidrio | Capacidad: $4.5 \frac{Kg}{H}$ | | Pag 1/1 |
| Especificaciones | | | |
| Descripción | La trituradora de vidrio es una máquina diseñada para procesar vidrio sódico-cálcico, reduciendo su tamaño a partículas de entre 6 milímetros a 9 milímetros. Utiliza un sistema de cuchillas paralelas fabricadas en acero 304, montadas en un eje robusto, que permite un corte eficiente y preciso del material. El eje está soportado por chumaceras de alta resistencia, asegurando un funcionamiento suave y duradero. La máquina está impulsada por un motor trifásico que aplica un torque considerable, garantizando la fuerza necesaria para triturar el vidrio de manera efectiva. Además, el sistema incluye una báscula para medir el peso del vidrio triturado, facilitando un control preciso del proceso de trituración. | | |
| Datos generales | | | |
| Modelo | Máximo tamaño de alimentación (mm) | Tamaño de la salida (mm) | Capacidad Kg/H |
| Ficha técnica máquina trituradora de vidrio | 53,30 mm | Entre 6 mm a 9 mm | $4.5 \frac{Kg}{H}$ |
| Potencia del motor | Funcionamiento (RPM) | Dimensiones generales (mm) | Peso (kg) |
| 0.75 HP | 150 RPM | 877,56 x 1100 x 1990 | 150 kg |
| Datos específicos técnicos | | | |
| Lubricación | Engranés | Rodamientos | |
| Grasa multipropósito de litio Mobilgrease XHP 222 | 2 engranes | UCFL-205 | |

A continuación la actividad de mantenimiento de la máquina trituradora de vidrio

| Actividades de mantenimiento de la máquina trituradora de vidrio | |
|---|---|
| Recomendaciones: | Se recomienda seguir las actividades de mantenimiento preventivo programadas para garantizar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil de la máquina. |
| Actividades diarias de mantenimiento | |
| Actividad programada | Personal |
| Inspección visual: Realizar una revisión visual diaria para identificar posibles daños o desgastes en la máquina. | Operador de la máquina. |
| Inspección de lubricación: Verificar que los rodamientos y las chumaceras estén adecuadamente lubricados. | |
| Limpieza de la criba: Asegurarse de que la criba esté completamente limpia después de cada operación para evitar acumulación de material. | |
| Actividades mensuales de mantenimiento | |
| Actividad programada | Personal |
| Ajuste de tornillería: Revisar y ajustar todos los tornillos y conexiones para asegurar la estabilidad de la máquina. | Operador de la máquina. |
| Limpieza de cuchillas: Limpiar las cuchillas para remover cualquier residuo de vidrio que pueda afectar su eficiencia. | |
| Lubricación de chumaceras: Aplicar grasa multipropósito de litio a las chumaceras y otros puntos de contacto para reducir el desgaste. | |
| Verificación de conexiones eléctricas: Revisar las conexiones eléctricas del motor y otros componentes para asegurar un funcionamiento seguro. | |
| Actividades anuales de mantenimiento | |
| Reemplazo de tornillos de sujeción: Cambiar los tornillos de sujeción para mantener la integridad estructural de la máquina | Operador de la máquina. |
| Rectificación de cuchillas: Afilado o rectificación de las cuchillas para asegurar un corte preciso y efectivo | |
| Inspección de soldaduras: Revisar las soldaduras y remaches para detectar y corregir cualquier signo de debilitamiento | |
| Aplicación de pintura protectora: Pintar las partes expuestas para protegerlas de la corrosión | |
| Observaciones: | Registrar cualquier anomalía detectada durante las actividades de mantenimiento y realizar las correcciones necesarias |

ANEXO J NORMAS ISO

En base a nuestro proyecto, se tomaron en consideración las siguientes normas ISO [92].

- **ISO 9001 - Sistemas de gestión de la calidad:** Especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad (SGC) y se centra en la satisfacción del cliente, la mejora continua y la garantía de la calidad en procesos y productos.

- **ISO 12100 - Seguridad en máquinas:** Establece los principios generales de diseño seguro y la evaluación de riesgos en maquinaria.
- **ISO 45001 - Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo:** Proporciona un marco para gestionar los riesgos y mejorar la seguridad y salud en el lugar de trabajo, reduciendo accidentes y enfermedades laborales.
- **ISO 50001 - Sistemas de gestión de la energía:** Ofrece un marco para establecer, implementar y mejorar un sistema de gestión de la energía, ayudando a las organizaciones a mejorar su eficiencia energética.
- **ISO 31000 - Gestión de riesgos:** Proporciona principios y directrices sobre la gestión de riesgos aplicables a cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño o sector.
- **ISO 14040 - Gestión del ciclo de vida:** Establece principios y marcos para la evaluación del ciclo de vida (ACV), que es el proceso de evaluar los impactos ambientales de un producto, proceso o servicio a lo largo de su ciclo de vida.