



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA
DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA PRODUCCIÓN DE VASOS A
PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS.**

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO.

AUTOR:

Miguel Andres Mendieta Macas

DIRECTOR:

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA PRODUCCIÓN DE VASOS A PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS”**; previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **Miguel Andres Mendieta Macas**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 22 de marzo de 2021.

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **MIGUEL ANDRES MENDIETA MACAS**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1105364739

Fecha: 15 de diciembre de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **MIGUEL ANDRES MENDIETA MACAS**, declaro ser autor de la tesis titulada: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA PRODUCCIÓN DE VASOS A PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS**”, como requisito para optar al grado de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los 15 días del mes de diciembre del dos mil veinte y uno firma el autor:

Firma:

Autor: Miguel Andres Mendieta Macas

Cédula: 1105364739

Dirección: Vilcabamba

Correo electrónico personal: miguel-mm1996@hotmail.com

Correo electrónico institucional: mamendietam@unl.edu.ec

Teléfono: 073104888 Celular: 0997865557

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc

Tribunal de grado:

Presidente del tribunal: Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz, Mg. Sc.

Integrante del tribunal: Ing. Luis Armando Salgado Valarezo, Mg. Sc.

Integrante del tribunal: Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la sabiduría y la oportunidad de formarme cada día para lograr lo que soy en esta vida.

A mis padres que me han apoyado día a día, que han hecho hasta lo imposible para darme la oportunidad de formarme personal y académicamente, siempre motivándome a ser mejor y triunfar en la vida.

A mis hermanos por su apoyo brindado durante todo mi proceso de formación.

A mi abuelita por su cariño y sus consejos de vida.

A mi novia por apoyarme en cada momento y motivarme siempre a ser una mejor persona.

Finalmente, a todos mis familiares que me han demostrado su apoyo para que pueda estudiar y ser un profesional.

Miguel Mendieta

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y a la Carrera de Ingeniería Electromecánica, por la formación académica recibida.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, por la formación académica recibida a lo largo del proceso de formación, de manera especial a mi tutor Ing. José Fabricio Cuenca Granda por su tiempo y conocimientos compartidos para lograr desarrollar este proyecto de tesis de forma satisfactoria.

Al taller “El Científico” por permitirme desarrollar mi proyecto de tesis y compartir su experiencia para el buen desarrollo de la misma.

Miguel Mendieta

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE.....	vii
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN	2
2.1. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1. GENERALIDADES DEL VIDRIO.....	6
4.1.1. Características del vidrio.....	6
4.1.2. Reciclaje.....	7
4.1.3. Botella de vidrio.....	9
4.1.4. Partes de una botella de vidrio	10
4.1.5. Tipos de botellas de vidrio	10
4.2. PROCESO DE CORTE DE VIDRIO.....	11
4.2.1. Máquinas cortadoras de vidrio y botellas de vidrio	11
4.2.2. Tipos de cortes para botellas de vidrio.....	15
4.2.3. Propiedades del carburo de tungsteno.....	17
4.2.4. Alambre de nicrom.....	17
4.2.5. Resistencia de calentamiento de niquelinas.	18
4.3. FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO.....	19
4.3.1. Resistencia de materiales.	19
4.3.2. Transmisión de potencia.	20
4.3.3. Diseño de elementos de máquinas	21
4.3.4. Fricción por rodadura.....	25
4.4. FUNDAMENTACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN	30
4.4.1. Arduino	30
4.4.2. <i>¿Para qué sirve Arduino?</i>	31

4.4.3.	Motor paso a paso	32
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
5.1.	MATERIALES.....	36
5.2.	MÉTODOS.....	36
5.2.1.	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA.....	36
5.3.	DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO.....	37
5.3.1.	Diseño del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.....	40
5.3.2.	Diseño del sistema de demarcación de la botella.....	44
5.3.3.	Diseño del sistema de aplicación de calor mediante niquelina.....	57
5.3.4.	Dimensionamiento del sistema de posición de longitud de vaso.....	59
5.3.5.	Dimensionamiento del sistema de centrado de botella.....	61
5.3.6.	Sistema de transmisión de potencia.....	63
5.4.	SISTEMA DE CONTROL.....	82
6.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	85
6.1.	Resultados del dimensionamiento mecánico.....	85
6.1.1.	Resultados del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.....	86
6.1.2.	Resultados del sistema de sujeción de la botella.....	86
6.1.3.	Resultados del sistema de contrapunto.....	86
6.1.4.	Resultados del sistema de demarcación de la botella.....	87
6.1.5.	Resultados del sistema de aplicación de calor mediante niquelina.....	87
6.1.6.	Resultados de los sistemas de posición de longitud de vaso y centrado de botella.....	87
6.1.7.	Resultados del sistema de transmisión de potencia.....	87
6.1.8.	Resultados del sistema de control.....	88
6.2.	FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA CORTADORA DE BOTELLAS.....	89
7.	DISCUSIÓN.....	93
8.	CONCLUSIONES.....	95
9.	RECOMENDACIONES.....	96
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	97
11.	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la reutilización de las botellas de vidrio.	9
Figura 2. Partes principales de una botella de vidrio.	10
Figura 3. Cortadora de vidrios manual o Cortador Fletcher.	11
Figura 4. Cortadora de botellas de vidrio kinkajou.....	12
Figura 5. Estrés térmico.	13
Figura 6. Máquina cortadora de botellas para la fabricación de lámparas.	13
Figura 7. Máquina para fabricar vasos.	14
Figura 8. Alambre de nicromo.	17
Figura 9. Gato de tornillo sinfín Joyce.....	22
Figura 10. Terminología de las roscas de los tornillos.....	23
Figura 11. Fricción por rodadura.	26
Figura 12. Cuerpos rígidos ideales.....	26
Figura 13. Cuerpos deformables reales.....	28
Figura 14. Universo ARDUINO.	31
Figura 15. Motor paso a paso 28BYJ-48.	33
Figura 16. Conexiones de la placa driver.....	35
Figura 17. Envase de botella Corona.	37
Figura 18. Esquema de diseño propuesto.....	39
Figura 19. Partes del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.....	40
Figura 20. Partes del sistema de sujeción de la botella.	41
Figura 21. Partes del brazo del sujetador.	42
Figura 22. Diámetros del sujetador de botellas.....	42

Figura 23. Partes del sistema de contrapunto.....	43
Figura 24. Partes del cortador Toyo TC-17.	44
Figura 25. Pieza para experimentar corte.....	45
Figura 26. Centro de masa de la pieza para experimentación.....	46
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre de la pieza.....	47
Figura 28. Placas para proporcionar peso adicional.....	48
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre de la pieza de experimentación más peso añadido.....	48
Figura 30. Placas seleccionadas para experimentación de corte.....	50
Figura 31. Partes del sistema de demarcado.	51
Figura 32. Obtención de datos para calcular la constante k del resorte.	52
Figura 33. Representación gráfica.....	53
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre para ecuación 26.....	55
Figura 35. Partes del sistema de aplicación de calor.....	57
Figura 36. Posiciones de la niquelina.....	58
Figura 37. Partes del dimensionamiento del sistema de posición de longitud de vaso.....	59
Figura 38. Sistemas montados sobre sistema de longitud de vaso.....	60
Figura 39. Partes del dimensionamiento del sistema de centrado de botella.	61
Figura 40. Sistema de contrapunto acoplado.	62
Figura 41. Partes del sistema de transmisión de potencia.....	63
Figura 42. Análisis de fuerzas en la botella de mayor diámetro.	66
Figura 43. Representación de fuerzas.	67
Figura 44. Diagrama de fuerzas que actúan en el sujetador de botellas.....	68
Figura 45. Análisis de fuerzas en la botella de menor diámetro.	69

Figura 46. Representación de fuerzas.	69
Figura 47. Diagrama de fuerzas.	70
Figura 48. Caja reductora.	73
Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del eje.	74
Figura 50. Fuerza cortante.	75
Figura 51. Momento flector.	75
Figura 52. Cálculo de motor para sistema de longitud de vaso.	77
Figura 53. Cálculo de motor para sistema de contrapunto.	79
Figura 54. Tablero de control.	82
Figura 55. Máquina cortadora de botellas.	89
Figura 56. Vidrio catedral.	100
Figura 57. Vidrio arenado.	100
Figura 58. Vidrio crudo.	100
Figura 59. Ruptura de vidrio fuera de la ruta por demarcado débil.	108
Figura 60. Vidrio cortado adecuadamente.	109
Figura 61. Ensamble acople - rodamientos.	132
Figura 62. Ensamble eje-acople	132
Figura 63. Pieza ensamblada.	133
Figura 64. Ensamble pieza- sujetador de botella.	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	49
Tabla 2.....	50
Tabla 3.....	53
Tabla 4.....	72
Tabla 5.....	85
Tabla 6.....	86
Tabla 7.....	86
Tabla 8.....	87
Tabla 9.....	88
Tabla 10.....	91
Tabla 11.....	93

1. TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA PRODUCCIÓN DE VASOS A PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS.

2. RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de una máquina semiautomática, cortadora de botellas de vidrio para la producción de vasos reciclados para la microempresa E-glass, que actualmente realiza este proceso de forma manual.

Se diseñó una máquina acorde a los requerimientos de la microempresa, logrando con el proceso semiautomático, una producción de corte de 240 vasos diarios.

El funcionamiento de la máquina cortadora consiste en sujetar la botella de la parte inferior, para lo cual se empleó un sujetador concéntrico de tres soportes y un contrapunto que mantiene la botella asegurada de manera centrada y rígida. El mecanismo de sujeción permite operar con botellas redondas desde 53 mm hasta 91 mm de diámetro y de 20 cm a 34 cm de longitud. El proceso de corte propiamente dicho, se da por un demarcado mediante un indentador de carburo de tungsteno, el cual se presiona contra la botella mientras esta gira. Como complemento de corte se implementó un sistema de calentamiento en la ruta de demarcado durante 40 segundos mediante una niquelina que alcanza una temperatura aproximada de 300 grados centígrados, (°C).

El proceso se desarrolla de forma semiautomática, siendo necesario que el operador facilite la introducción y retiro de las botellas antes y después del corte respectivamente.

El proceso fue ejecutado y validado con éxito, se realizaron varias pruebas de corte siendo este con el nivel de calidad requerido por la microempresa E-glass.

Palabras claves: Máquina semiautomática; cortadora de botellas; proceso de corte; componentes electromecánicos; vasos reciclados.

2.1. ABSTRACT

The present job describes a semiautomatic bottler cutter machine, for the productions of recycle cups the micro-company E-glass, now on time makes this process manually.

The machine was designed according to the micro-company requirements, getting with the semiautomatic process a production of 240 cups daily.

The machine cutting function consist to hold the bottle from the bottom, to create this action we create a concentric holder with three supporters another support keep the bottle in the center and secure. The holder mechanism allow to work with round bottles from 53 mm to 91 mm of diameters and 20 cm to 34 cm longitude. The cutting process is made by a indenter carbide of tusteno, which is held against the bottle while it turns. As a cutting complement a heating system was used in the demarcation for 40 seconds route by means of a nickel that reaches an approximate temperature of 300 degrees Celsius, (°C).

The process is developed by semiautomatic, where the operator put and removes the bottle before and after the cut respectively.

The process was executed and approved with success, several cutting test were carried out this being the level of quality required by the micro-company E-glass.

Keywords: Semi-automatic machine; bottle cutter; cutting process; electromechanical components; recycled glasses.

3. INTRODUCCIÓN

Las máquinas cortadoras de botellas de vidrio tienen como objetivo transformar dichos envases en vasos aptos para el uso humano ya que comúnmente son desechadas. A través del reciclaje se contribuye de manera eco eficiente con el planeta, además de la oportunidad de crear fuentes de empleo.

En la ciudad de Loja existe abundancia de desechos y empresas que han visto en ello una oportunidad de negocio. Dichas empresas requieren incorporar procesos tecnológicos adecuados para su producción, como es el caso de la microempresa E-glass, la cual requiere mejorar la producción diaria y por ello es imperante el diseño de una máquina cortadora semiautomática, que logre cumplir con la capacidad objetiva de la misma.

Como objetivos propuestos para lograr el diseño de la máquina cortadora de botellas de vidrio se propone lo siguiente:

- Definir el proceso de corte de envases de botellas de vidrio conforme a los requerimientos de la microempresa E-glass.
- Diseñar y seleccionar según sea el caso, los componentes electromecánicos para el proceso antes definido.
- Construir, implementar y validar la máquina.

El sistema implementado consiste de mecanismos de poca complejidad, dentro de ellos un sistema de sujeción de botellas, sistema de corte por calentamiento, sistema de contrapunto, motorreductor para accionar los mecanismos y un conjunto de servomotores y accionamientos eléctricos que permiten, facilitan y semiautomatizan el proceso.

En el diseño se logró confeccionar y construir una máquina con una capacidad de corte de 240 vasos diarios con diámetros de botellas redondas de 53 mm hasta 91 mm y de 20 cm a 34 cm de longitud. Estos diámetros de botellas y otros requerimientos fue información brindada por la microempresa E-glass, la cual está interesada en el presente diseño.

El primer capítulo del trabajo realizado aborda el marco teórico, donde consta la información necesaria para cumplir los diversos objetivos, resumido en conceptos de corte de botella, luego conceptos de diseño mecánico y finalmente a procesos de semiautomatización mediante Arduino.

En el segundo capítulo se expone la metodología, donde se describe paso a paso el procedimiento para dar fiel cumplimiento a los objetivos.

En el tercer capítulo se expone el desarrollo, encontrándose el conjunto de cálculos, descripción de la máquina, diseño mecánico de los componentes y propuesta de automatización.

En el cuarto capítulo, finalmente se encuentran conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

4. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. GENERALIDADES DEL VIDRIO

“El vidrio es un material totalmente inorgánico duro, pero a su vez muy frágil. Puede ser transparente, o bien disponer de una gama de tonalidades variadas que dependen de la composición química con la que haya sido fundido” (Gonzalez, 2019, párr.4).

El vidrio es un material cerámico amorfo fundido a elevadas temperaturas, se puede encontrar en la naturaleza o puede ser elaborado por el ser humano y utilizado para crear botellas, ventanas, entre otros productos.

“La composición química de la formación del vidrio contiene arena de sílice, compuesto por silicio y oxígeno (SiO_2), carbonato de sodio, compuesto de sodio, carbono y oxígeno (Na_2CO_3) y caliza, que está compuesto por calcio, carbono y oxígeno (CaCO_3)” (Gonzalez, 2019, párr.15).

Es importante mencionar que existe una diferencia entre vidrio y cristal, ya que el término cristal es utilizado con frecuencia como sinónimo de vidrio, lo cual es incorrecto ya que el vidrio es un material sólido amorfo, es decir, sus moléculas están dispuestas de forma irregular, contrario a los sólidos cristalinos (Gonzalez, 2019).

4.1.1. Características del vidrio

“El tamaño, propiedades y características de un vidrio, influirán en la forma de maquinarlo, es decir, si es más delgado o duro, e incluso si está grabado o no” (Vergara, 2018, p.28).

En la producción de vidrio intervienen factores como la temperatura, la cual se debe controlar para regular las fuerzas interiores que lo hacen quebradizo, también se utiliza para la técnica del templado, aumentando su dureza y resistencia (Vergara, 2018).

La superficie queda en un estado permanente de compresión, de modo que las fuerzas que se apliquen al objeto tendrán que vencer primero las tensiones de compresión. Por diversos experimentos se ha comprobado que la tensión en un vidrio puede ser menor cuando éste ha sido templado dentro de cierto rango de temperatura.

Dentro de las propiedades térmicas se pueden definir cuatro temperaturas de referencia en función de la viscosidad del vidrio. El punto de trabajo, donde la viscosidad del vidrio caliente es lo suficientemente baja como para poder darle forma utilizando métodos ordinarios. El punto de reblandecimiento, temperatura a la cual el vidrio empieza a deformarse de manera visible. El punto de recocido, que es cuando las tensiones internas existentes son desvanecidas, y que corresponde a la temperatura más alta de recocido. Por último, el punto de deformación, donde el vidrio es un sólido rígido y puede enfriarse rápidamente sin introducir ningún tipo de tensiones externas. (Vergara, 2018, p.28).

4.1.2. Reciclaje

El envase de vidrio es 100% reciclable, dando la oportunidad de crear nuevos productos a partir de estos ya que se requiere menos energía que al fabricar desde cero, además, disminuye la contaminación del aire en un 20%, se reduce la erosión de la tierra por extracción ayudando a preservar el medio ambiente.

Vergara (2018) menciona:

Aunque el vidrio se elabora con materias primas relativamente baratas y abundantes (arena, sosa, cal), la extracción de los materiales provoca un impacto importante en el paisaje. Reciclar reduce este problema y también aleja el vidrio, un material que no se biodegrada, de los vertederos.

A lo largo de la historia, los restos de vidrio se han reutilizado de forma muy diversa. Por ejemplo, el cristal fundido sirve para hacer bisuterías, cortado en pequeñas piezas, para hacer vidrieras de colores. El creciente interés por el diseño ha hecho renacer la artesanía tradicional. El vidrio también puede reprocesarse en otros materiales; puede sustituir al cuarzo en la fabricación de porcelana de gran resistencia o utilizarse para fabricar aislantes (p.34).

De acuerdo a Vergara (2018), los vidrios que pueden ser reciclados son:

Botellas de bebidas (gaseosas, jugos, licores, vinos) enteras, es decir sin defectos. Estos pueden ser reutilizados por la misma empresa embotelladora y tienen un valor económico más alto. Esta retornabilidad significa un ahorro de energía, lo que es beneficioso para la empresa y para el medio ambiente (p.34).

También son reciclados envases o frascos, así como el vidrio roto, este se entrega separado por kilo y por color, se tiene también vidrios que no son reciclables como el vidrio roto de auto (parabrisas), vidrio roto de ventanas, espejos, ampollitas y fluorescentes (Vergara, 2018).

Para comprender como se realiza el proceso de reciclaje del vidrio se muestra la siguiente ilustración:

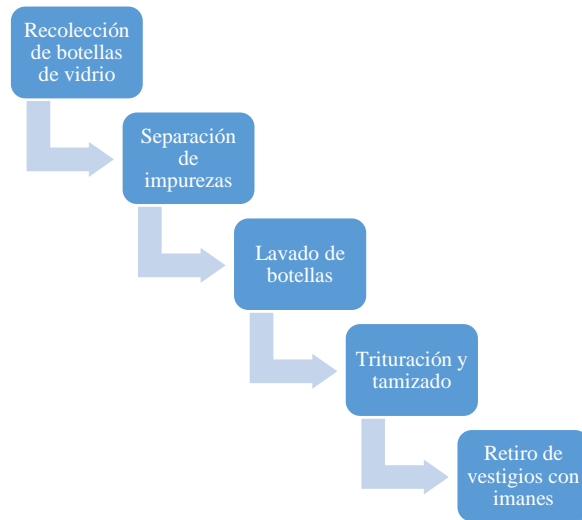


Figura 1. Flujograma de la reutilización de las botellas de vidrio.

Fuente: (Gutiérrez, 2015. Adaptación del autor).

Es importante señalar que el reciclaje de vidrio necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesita unas 4.200 kilocalorías de energía. Además, el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica que provocaría por el proceso habitual y disminuye en un 40% la contaminación del agua. Añadiendo también que la energía que se ahorra del procesamiento de una botella de cristal puede mantener encendida una bombilla de 100 watts durante 4 horas. (Gutiérrez, 2015, p.30)

4.1.3. Botella de vidrio

Las botellas de vidrio industriales forman parte de los tipos de envases de uso más comunes en la industria alimentaria, siendo una de sus características principales el pequeño diámetro de la abertura o boca, lo que permite el envasado de productos líquidos, por lo general se utiliza para productos que no se ven afectados bajo los efectos de la luz.

4.1.4. Partes de una botella de vidrio

Las partes principales de una botella de vidrio se detallan a continuación en el siguiente gráfico:

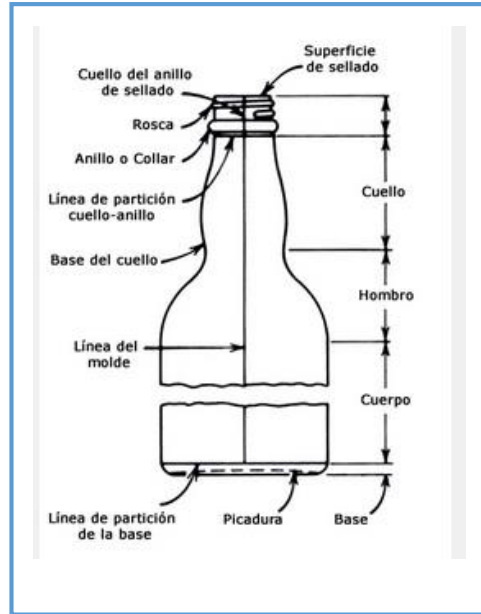


Figura 2. Partes principales de una botella de vidrio.

Fuente: (Sanleón, (s.f.)).

4.1.5. Tipos de botellas de vidrio

En el campo industrial el empleo del vidrio interviene en sectores muy variados que cubren una amplia gama de productos.

En este trabajo se utilizarán únicamente botellas de vidrio, de prioridad botellas redondas transparentes no retornables, las más abundantes son las botellas de cerveza y según datos de la microempresa E-glass, los clientes prefieren vasos de botellas transparentes (botella Corona especialmente), además, se trabaja con botellas de vinos y más bebidas en la cual su envase no es retornable.

4.2. PROCESO DE CORTE DE VIDRIO.

En la actualidad se puede encontrar algunos métodos, así como diversidad de máquinas que permiten realizar cortes en botellas de vidrio, algunos de estos procesos involucran la aplicación de calor para sus cortes, tomados en consideración para el desarrollo del trabajo de investigación.

4.2.1. Máquinas cortadoras de vidrio y botellas de vidrio

Gutiérrez (2015), señala las siguientes máquinas cortadoras de vidrio:

4.2.1.1. Cortadora de vidrios manual o Cortador Fletcher.

Este cortador tiene la forma de un lápiz, la misma que está compuesta por una punta filosa de acero, diamante o carburo de tungsteno, los cuales cada uno tiene su dureza característica, cabe recalcar que la punta de carburo de tungsteno tiene una vida útil más larga que la del acero, los cuales permiten realizar cortes en toda clase de vidrio plano.



Figura 3. Cortadora de vidrios manual o Cortador Fletcher.

Fuente: (Gutiérrez, 2015).

4.2.1.2. Cortador de botellas de vidrio kinkajou.

Es una herramienta que incorpora placas de ajuste con pernos, esto se posiciona en la parte externa de la botella lo que permite focalizar de una manera segura el área de corte. Después hay que girar la botella para que la rueda de corte haga la línea de fractura, es importante mencionar que esta rueda de corte utiliza una punta filosa que puede ser de acero, diamante o

carburo de tungsteno ya que estos materiales tienen una dureza característica para el corte de la botella de vidrio. Para realizar la separación de las partes hay que verter agua caliente sobre la línea de fractura consecutivamente exponer a un chorro de agua fría.



Figura 4. Cortadora de botellas de vidrio kinkajou

Fuente: (Gutiérrez, 2015).

4.2.1.3. Estrés térmico

El corte por estrés se aplica aprovechando las propiedades térmicas del vidrio, se puede cortar por calentamiento debido a que este material, especialmente el sílice sufre modificación en su comportamiento molecular que se expresa en una dilatación térmica que modifica su forma, el vidrio no se comporta plásticamente como los metales en el sentido que al calentarse se dilatan y al enfriarse se contraen sino que se fractura en formas de acuerdo con la distribución del calor, es por eso que al calentarse de modo homogéneo en una dirección determinada puede fracturarse simétricamente, sobre todo allí donde la pared de las botellas es uniforme (p.13).



Figura 5. Estrés térmico.

Fuente: (Gutiérrez, 2015).

4.2.1.4. Máquina cortadora de botellas de vidrio para fabricación de lámparas.

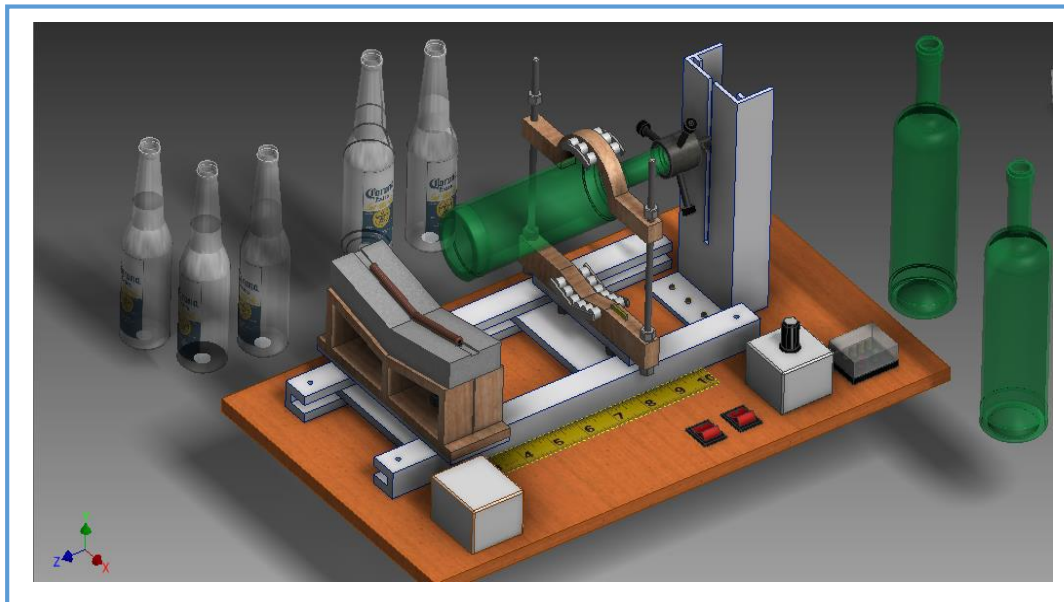


Figura 6. Máquina cortadora de botellas para la fabricación de lámparas.

Fuente: (Vergara, 2018).

La máquina cortadora de botellas realiza el corte en 3 partes, la primera en la cual el operario coloca la botella de forma manual en el acople del motor y procede a energizarlo para hacer girar la botella, luego demarcarla por medio de un cortador de vidrio no auto lubricado y finalmente corta con resistencia eléctrica tipo resorte a 330°C.

La máquina se energiza a 220 voltios, y consta de un transformador que reduce el voltaje a 12 voltios para hacer girar el motor, las revoluciones por minuto obtenidas son 4rpm como mínimo y 10 rpm como máximo, la cuales se regulan con un potenciómetro según se requiera. Además, el encendido y apagado del motor y la niquelina se realizan con un interruptor.

La máquina está diseñada para cortar botellas de 50 mm de diámetro hasta los 200 mm respectivamente, con una producción diaria de 30 botellas (Vergara, 2018).

4.2.1.5. *Máquina cortadora de botellas de vidrio para cristalería ecológica.*

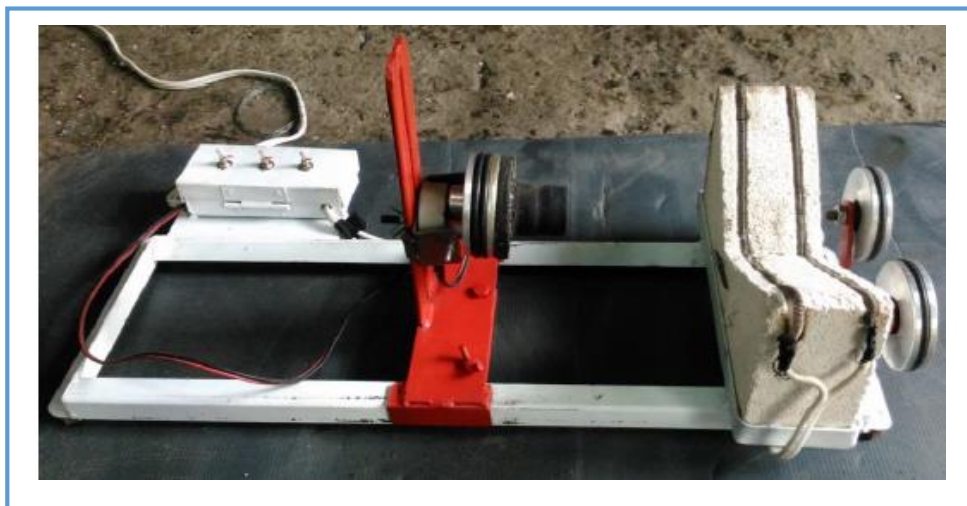


Figura 7. Máquina para fabricar vasos.

Fuente: (Gutiérrez, 2015).

La máquina de corte consiste en colocar la botella de forma manual en un caucho de agarre, la cual gira sobre dos poleas para no tener contacto directo con la niquelina.

El motor que gira la botella tiene una velocidad de 6 rpm, el cual se energiza a través de un panel de control. Este permite energizar y desenergizar el motor, así como también la niquelina la cual calienta la botella, mientras esta gira para realizar el corte.

Esta máquina tiene una capacidad de producción de un vaso por cada dos minutos, es decir puede producir 30 vasos por hora (Gutiérrez, 2015).

4.2.2. Tipos de cortes para botellas de vidrio

Entre los métodos más conocidos para realizar cortes en botellas de vidrio que se adapten a las necesidades y exigencias tenemos:

4.2.2.1. Método de la llama

Lo primero que se hace para este método, es trazar un corte superficial sobre la botella a la altura deseada, se lo puede hacer con un punzón, un corta vidrio o una broca. Sobre la línea trazada, se aplica 5 minutos de calor con una vela o soplete, lo importante es lograr que la botella se caliente uniformemente, por eso es importante girarla. Luego se sumerge la botella en agua muy fría, es probable que se deba repetir el proceso del cambio brusco de temperatura hasta que la botella se corte por la línea trazada, finalmente lijar los bordes y las puntas afiladas.

4.2.2.2. Método del agua hirviendo

Se traza un corte superficial sobre la botella con un corta vidrio, punzón o una broca. Es importante que los cortes no se superpongan para que quede bien parejo, se hierve agua en un recipiente y se prepara agua fría en otro.

Se pone el agua hirviendo sobre la línea de corte, la idea como en el método anterior, es concentrar el calor uniformemente. Luego se coloca la botella en el recipiente con agua fría, es probable que se tenga que repetir el procedimiento hasta que el cambio brusco de temperatura produzca un corte limpio, finalmente lijar los bordes.

4.2.2.3. Método del hilo

Para este método se necesita un trozo de lana o hilo grueso, se lo empapa en acetona o alcohol, se ata el hilo a la botella a la altura que se desea producir el corte, seguidamente se enciende fuego al hilo y se gira la botella para que el calor sea uniforme.

Cuando el fuego comience a mermar, se sumerge inmediatamente la botella en un recipiente con agua fría. La botella debería quebrarse instantáneamente, se procede a lijar los bordes.

4.2.2.3.1. Método eléctrico

Para este método se utiliza una herramienta eléctrica, en este caso un corta azulejos, se coloca cinta de enmascarar en la botella, formando una guía pareja por donde se realizará el corte.

Se corta con el corta azulejos, siempre procurando humedecer la sierra para enfriar la hoja y que no se estropee la pieza, finalmente se lija los bordes (Construir TV, 2015).

Dentro de los diferentes procesos se tiene que el corte se lo hace de forma manual, por lo que el principal motivo de este proyecto es la creación de una máquina cortadora de botellas de vidrio.

La única forma de obtener buenos resultados es cambiar el proceso manual y hacerlo semiautomático, con elementos de precisión que garanticen un corte adecuado en la botella, mediante un proceso donde la probabilidad de dañar la botella sea reducida al máximo.

4.2.3. Propiedades del carburo de tungsteno

El carburo de tungsteno es un compuesto químico inorgánico, formado por partes iguales de tungsteno y carbono, es utilizado por su elevada dureza ya que se encuentra en 8,5 y 9 en la escala de dureza de Moh, lo que hace que sea tan duro como el diamante. Se utiliza en las cortadoras de vidrio por tener un periodo de vida más largo que el acero ya que es más resistente y mantiene su filo por más tiempo.

4.2.4. Alambre de nicrom

El alambre de nicrom es un material muy resistente y extensivo, tiene un punto de fusión elevado, por lo que es utilizado para mejorar el desempeño a altas temperaturas de muchos otros materiales, este tiene proporciones perfectas de la fuerza de tensión y requisitos de energía, haciéndolo perfecto no sólo para cortar, sino que también se acopla a las capacidades de fuentes de alimentación.



Figura 8. Alambre de nicromo.

Fuente: (Blogger, 2014).

4.2.5. Resistencia de calentamiento de niquelinas.

Las resistencias de calentamiento de niquelinas no son más que resistencias eléctricas usadas como fuentes de generación de calor para aumentar la temperatura de la substancia, cuerpo o espacio deseado basándose netamente en el efecto Joule.

4.2.5.1. *Velocidad de corte*

Para el proceso de corte se procede a demarcar la botella y cortar a través de aplicación de calor, la velocidad con la que demarca el indentador es la velocidad con la que gira la botella, la cual es recomendada que sea a una velocidad baja entre 8 a 15 revoluciones por minuto.

4.3. FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico se refiere al diseño de sistemas de naturaleza mecánica, entre las cuales podemos mencionar: estructuras, máquinas, instrumentos, etc., las cuales cumplen sus determinadas funciones o necesidades

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y la teoría eléctrica y de la información. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina (Budynas y Nisbett, 2008, p.5).

4.3.1. Resistencia de materiales.

La resistencia de materiales estudia el efecto de las fuerzas que actúan en los cuerpos deformables, es decir, la capacidad que tienen los materiales para resistir esfuerzos y fuerzas que se aplican, sin sufrir deformaciones permanentes, deterioro o romperse.

“Según sea la disposición de las fuerzas superficiales que actúan sobre un sólido, este puede estar sometido a esfuerzos normales (tracción y compresión), cortante, flexión y torsión” (Reyes, 2017, p.15).

Para el diseño mecánico donde se utiliza geometrías complejas, se requiere utilizar técnicas establecidas en la teoría de la elasticidad o mecánica de sólidos deformables.

4.3.2. Transmisión de potencia.

La transmisión de potencia se define como un sistema que permite transmitir potencia de una fuente a otro elemento, permitiendo así, disminuir, aumentar o mantener el torque y la velocidad, dependiendo si los requisitos técnicos son poco exigentes o requieren una alta complejidad.

4.3.2.1. Potencia Nominal

La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales; esto quiere decir, que el aparato está diseñado para soportar esa cantidad de potencia, sin embargo, debido a fluctuaciones en la corriente, al uso excesivo o continuo, o en situaciones de uso distintas a las del diseño, la potencia real puede diferir de la nominal, siendo más alta o más baja.

Los elementos de transmisión mecánica se pueden determinar por diferentes tipos de fórmulas:

$$P_n = T * W_{salida} \quad (1)$$

Donde:

T : Torque en Nm

W_{salida} : Velocidad angular de salida en rad/s

4.3.2.2. Potencia a transmitir

Es la potencia de servicio entre la eficiencia del sistema de transmisión, para una transmisión por fricción este valor esta entre el 75 al 96% y se define por la expresión:

$$P_e = \frac{P_n}{\eta} \quad (2)$$

Donde:

P_n : Potencia nominal.

η : Rendimiento de la transmisión.

4.3.2.3. Potencia de diseño

Es la potencia empleada para el cálculo y selección de un motor eléctrico, pero considerando el factor de servicio (F_s), para una máquina impulsada con características del par de torsión normal.

$$P_d = P_n * F_s \quad (3)$$

4.3.3. Diseño de elementos de máquinas

4.3.3.1. Ejes

Un eje es un elemento rotatorio o estacionario, el cual usualmente tiene una sección transversal circular y puede tener montados elementos transmisores de potencia, tales como engranes, poleas, etc. En el proceso de transmisión de potencia a una velocidad rotacional dada, un eje puede estar sujeto a un par de torsión, de esta forma, en el eje se desarrolla un esfuerzo cortante de torsión. Asimismo, algunos elementos de máquinas cuando se montan sobre un eje ejercen fuerzas sobre este en dirección transversal (perpendicular al eje) así en el eje se desarrollan momentos flexionantes. Al momento de realizar un diseño de ejes se toma en cuenta el diámetro mínimo, el cual debe soportar las cargas que actúan sobre este (Reyes, 2017, pp.18-19).

4.3.3.2. Tornillo de potencia y sujetadores roscados

Un tornillo de potencia es un dispositivo que se utiliza en maquinaria para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal y, por lo general, para transmitir potencia. Entre las aplicaciones familiares se incluyen los tornillos de tornos y los tornillos para prensas de banco, prensas de sujeción y gatos (Budynas y Nisbett, 2008, p.400).

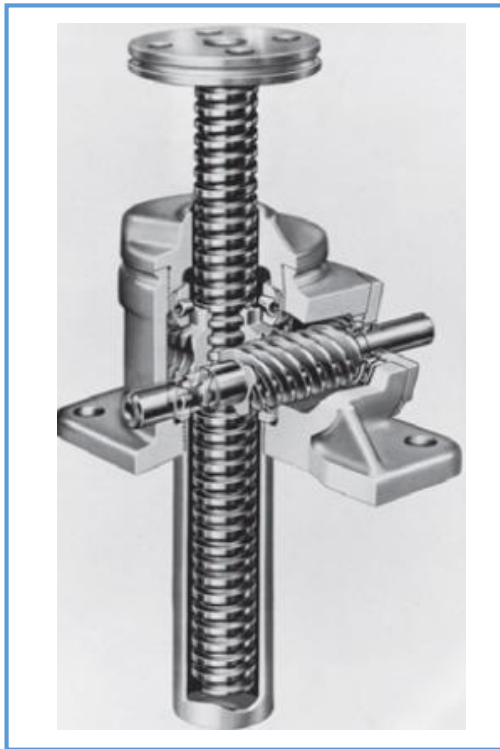


Figura 9. Gato de tornillo sinfín Joyce.

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2008, p.400).

“Los sujetadores roscados incluyen pernos pasantes, tornillos de cabeza, tornillos de máquinas, tornillos prisioneros y una variedad de implementos especiales que utilizan el principio del tornillo” (Hall, Holowenco, y Laughlin, 1970, p.145).

4.3.3.3. Terminología de las roscas de los tornillos

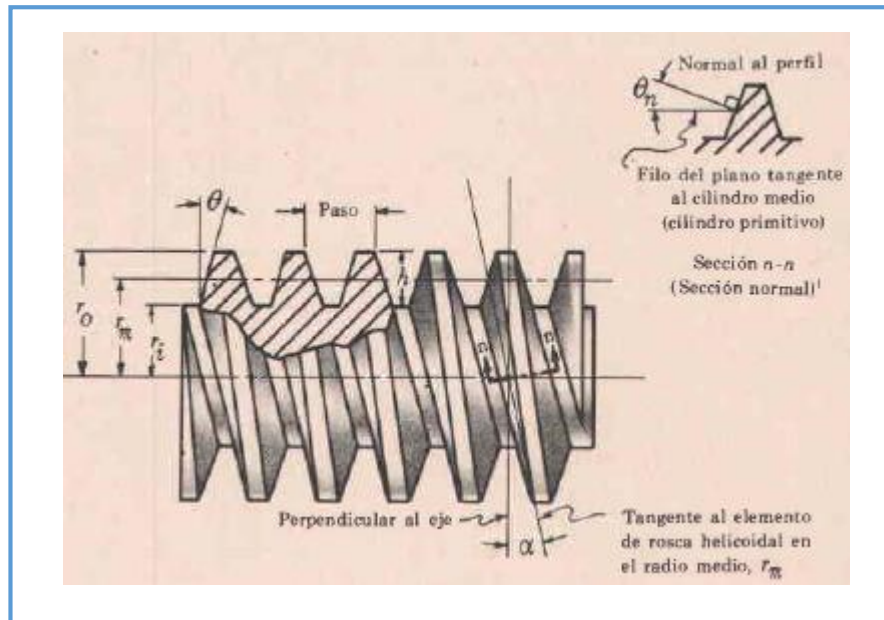


Figura 10. Terminología de las roscas de los tornillos.

Fuente: (Hall, Holowenco, y Laughlin, 1970, p.145).

Paso es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente, medida paralelamente al eje.

Avance es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla, el avance es igual al paso. Para un tornillo de rosca doble, el avance es el doble del paso, etc.

Ángulo de la hélice α está relacionado con el avance y el radio medio r_m por la ecuación.

$$\tan \alpha = \frac{\text{avance}}{2\pi r_m} \quad (4)$$

En algunos cálculos se usará el ángulo θ_n que mide la pendiente del perfil de la rosca en la sección normal.

Está relacionado con el ángulo θ en la sección axial y al ángulo de la hélice como sigue:

$$\tan\theta_n = \tan\theta \cos\alpha \quad (5)$$

Cuando aparece $\cos\theta_n$ en las ecuaciones que siguen, se reemplaza con frecuencia por $\cos\theta$. Esta da una ecuación aproximada, pero para valores normalmente pequeños de α , no introduce error.

4.3.3.4. *Momento de giro y carga axial*

Están relacionados entre sí mediante la siguiente ecuación para avance contra la carga (o elevando la carga).

$$T_t = W \left[r_m \frac{\tan \alpha + \frac{f}{\cos \theta_n}}{1 - \frac{f \tan \alpha}{\cos \theta_n}} + f_c r_c \right] \quad (6)$$

Donde:

T_t : Momento aplicado para girar el tornillo o la tuerca, cualquiera que sea el que se esté girando en Nm.

W : Carga paralela al eje del tornillo (N).

r_m : Radio medio de la rosca (m).

f : Coeficiente de rozamiento entre las roscas del tornillo y la tuerca.

f_c : Coeficiente de rozamiento en el collar.

α : Ángulo de la hélice de la rosca en el radio medio en grados.

θ_n : Ángulo entre la tangente al perfil del diente (sobre el lado cargado) y una línea radial, medido en un plano normal a la hélice de la rosca en el radio medio.

El momento requerido para avanzar el tornillo (o la tuerca) en el sentido de la carga (o descendiendo la carga) es:

$$T_t = W \left[r_m \frac{-\tan \alpha + \frac{f}{\cos \theta_n}}{1 + \frac{f \tan \alpha}{\cos \theta_n}} + f_c r_c \right] \quad (7)$$

Si el momento es positivo, se produce un trabajo para avance del tornillo. Si el momento es negativo significa que en equilibrio debe retardar la rotación. Se menciona que en este caso el tornillo sufrirá arrastre (Hall, Holowenco, y Laughlin, 1970, p.146).

4.3.4. Fricción por rodadura

4.3.4.1. Generalidades

La resistencia a la rodadura se presenta cuando un cuerpo rueda sobre una superficie, deformándose uno de ellos o ambos. El concepto de coeficiente de rodadura es similar al de coeficiente de fricción, con la diferencia de que este último hace alusión a dos superficies que deslizan o resbalan una sobre otra, mientras que en el coeficiente de rodadura no existe tal resbalamiento entre la rueda y la superficie sobre la que rueda, disminuyendo por regla general la resistencia al movimiento (Miranda, 2015, párr.1).



Figura 11. Fricción por rodadura.

Fuente: (Miranda, 2015).

La rueda, en función del material con el que esté construida y su propio peso, además del de la carga que soporta, sufre una deformación que al rotar provoca repetidos ciclos de deformación y recuperación (Histéresis), estos ciclos propician la disipación de energía por calor. Además, esta deformación supone que la superficie de apoyo de una rueda no sea una línea recta, sino por el contrario un área determinada (Miranda, 2015, párr.3).

4.3.4.2. Cuerpos rígidos (ideales)

“Para comprender mejor la causa de resistencia al movimiento de una rueda, se considera el caso ideal de un cuerpo indeformable (un cilindro o una rueda, por ejemplo) que puede rodar sobre una superficie plana también indeformable (Figura 12)” (Miranda, 2015, párr.4).

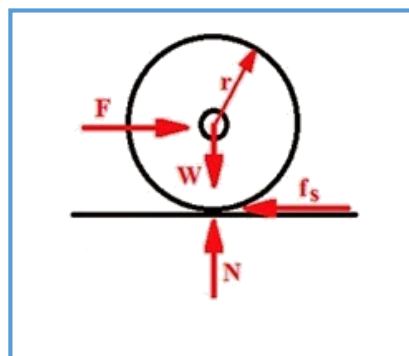


Figura 12. Cuerpos rígidos ideales.

Fuente: (Miranda, 2015).

Miranda (2015) afirma:

Si la superficie es horizontal, las fuerzas que actúan sobre el cilindro son: su peso W y la reacción normal del plano N . Si se aplica una fuerza F sobre el eje del cuerpo, paralelamente al plano y perpendicularmente al eje, aparecerá una fuerza de rozamiento f_s , en dirección opuesta a la fuerza aplicada F . El momento de la fuerza de rozamiento (T) respecto del eje del cilindro, estará dado por la siguiente expresión:

$T = f_s * r$ dónde: r = radio de la rueda.

Por el diagrama de equilibrio de la rueda tenemos:

$$F = f_s \quad (8)$$

En consecuencia:

$$T = F * r \quad (9)$$

Así, en el caso de cuerpos indeformables soportados por superficies indeformables, por pequeña que sea la fuerza F aplicada, se producirá la rodadura (párrs.5-6).

4.3.4.3. *Cuerpos deformables (reales)*

En situaciones reales, los cuerpos se deforman, por poca que sea la carga aplicada o peso del objeto. El contacto no se realiza entonces a lo largo de una línea recta (como en el ejemplo anterior) sino a lo largo de una estrecha superficie, como se muestra en la Figura 13. Ello da lugar a que aparezcan reacciones en los apoyos; reacciones que dan lugar a la aparición de un par que se opone la rodadura (Miranda, 2015, párr.7).

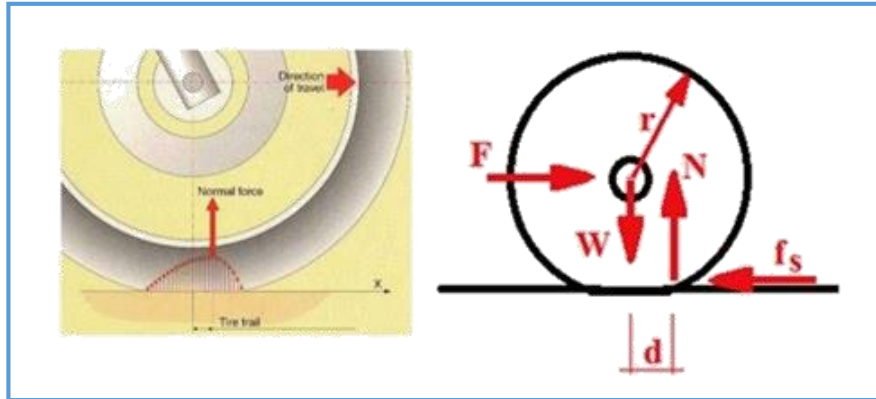


Figura 13. Cuerpos deformables reales.

Fuente: (Miranda, 2015).

En la figura de la izquierda, se observa las fuerzas que se ejercen sobre un disco que se deforma y un plano horizontal que también se deforma. La resultante de las fuerzas que se ejercen en la superficie de contacto se muestra en la figura de la derecha. Dicha resultante, tiene dos componentes: una componente vertical N y una componente horizontal f_s . La componente vertical N no pasa en general por el centro de masas, sino a una pequeña distancia d .

Las ecuaciones del movimiento para un disco de peso W y radio r son:

$$F - f_s = 0 \quad (10)$$

$$N - W = 0 \quad (11)$$

$$N * d - f_s * r = 0 \quad (12)$$

Se resuelve las ecuaciones y se obtiene:

$$W * d = F * r \quad (13)$$

$$F = \frac{d}{r} * W(1) \quad (14)$$

La distancia **d** recibe el nombre de **coeficiente de resistencia a la rodadura**. Es necesario señalar que **d** no es un coeficiente adimensional puesto que representa una longitud; por lo general, se expresa en pulgadas o en milímetros. El valor de **d** depende de varios parámetros en forma que aún no se ha establecido claramente su valor para distintas aplicaciones.

De las expresiones anteriores se deduce que la fuerza necesaria para hacer girar la rueda es inversamente proporcional al radio de la rueda; esa es la ventaja de las ruedas grandes sobre las pequeñas. El valor del coeficiente **d** depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto (fundamentalmente de su rigidez) (Miranda, 2015, párrs.8-10).

La magnitud adimensional C_r se define como:

$$C_r = \frac{d}{r} \quad (15)$$

$$F = C_r * W \quad (16)$$

Para Miranda (2015), el valor del coeficiente de rodadura de cada sistema, depende de:

- La rigidez o dureza de la rueda y superficie.
- El radio de la rueda (a mayor radio menor resistencia).
- El peso o carga al que se somete cada rueda.
- El acabado de las superficies en contacto, forma relativa, etc.
- Viscosidad entre las superficies de contacto.
- En el caso de ruedas neumáticas, de su presión (a mayor presión menor resistencia).
- Temperatura de los cuerpos (párr.12).

4.4. FUNDAMENTACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN

Automatización Industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. La automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales (Reyes, 2017, p.35).

4.4.1. Arduino

Arduino es una de las placas más conocidas a nivel mundial, ya que sus herramientas de programación la hacen una de las más completas que se pueden encontrar en el mercado, permitiendo que cualquier persona pueda realizar proyectos de manera sencilla.

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un micro controlador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. El micro controlador más usado son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de

programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa (Leyva, 2014, p.1).

4.4.2. ¿Para qué sirve Arduino?

Arduino se puede utilizar para crear elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Nos sirve tanto para controlar un elemento, si se pone por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente en una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado o una página web, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y escribir por un display lo tecleado (Crespo, 2016, párr.11).

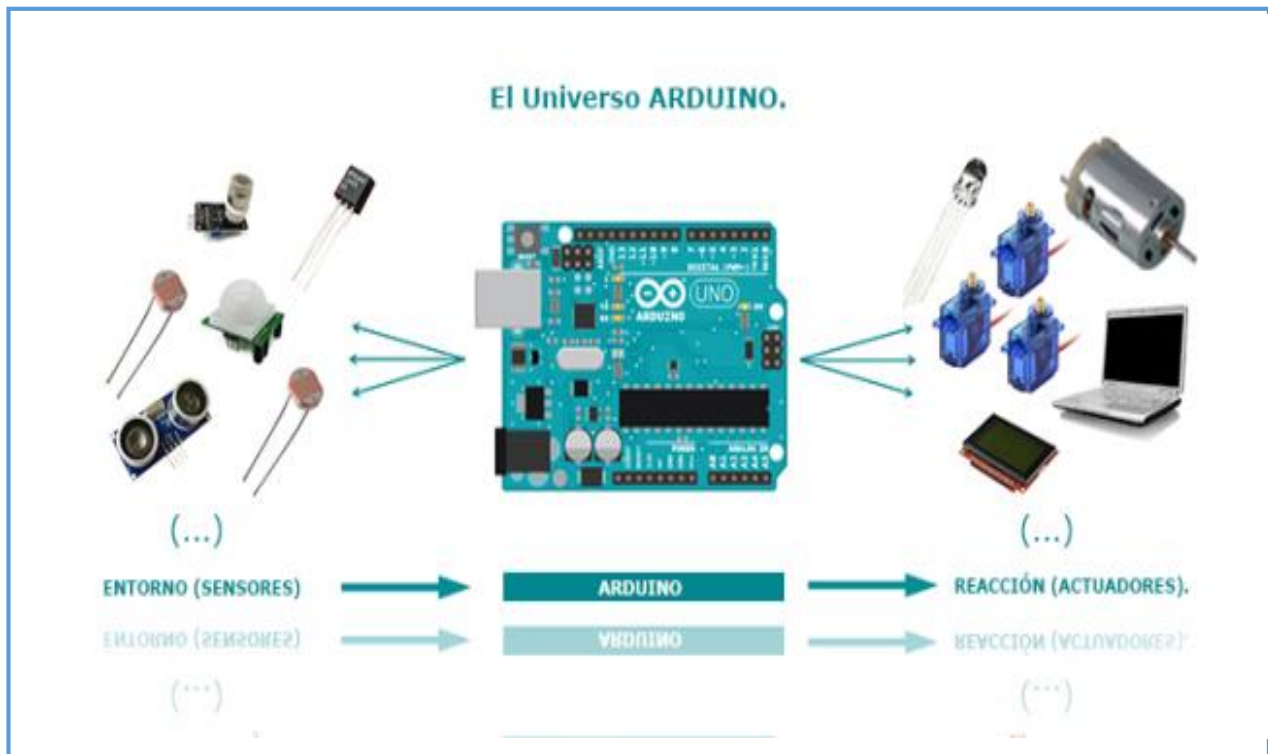


Figura 14. Universo ARDUINO.

Fuente: (Crespo, 2016).

4.4.3. Motor paso a paso

Un motor paso a paso es un motor de corriente continua que convierte pulsos eléctricos en movimientos discretos, logrando un funcionamiento preciso, controlando la posición del rotor, así como la velocidad de rotación, además, en este tipo de motores se destaca el arranque rápido, inicio, parada y capacidad de cambio de giro.

La secuencia de los pulsos aplicados se relaciona directamente con la dirección de rotación de ejes motor. La velocidad de la rotación de los ejes motor está directamente relacionada con la frecuencia de los pulsos de entrada y la duración de la rotación está directamente relacionada con el número de pulsos de entrada aplicada.

Una de las ventajas más importantes de un motor paso a paso es su capacidad para ser controlado con precisión en un sistema de lazo abierto. Control de lazo abierto significa que ninguna información de retroalimentación de posición es necesario. Este tipo de control elimina la necesidad de costosos dispositivos de detección y regeneración como codificadores ópticos (Crespo, 2016, párrs.2-3).

4.4.3.1. Descripción del motor 28BYJ-48

El motor 28BYJ-48 es un motor paso a paso unipolar, pequeño y económico, su alimentación es 5 V o 12 V, dependiendo del tipo de motor.

El 28BYJ-48 tiene un paso de 5.625 grados (64 pasos por vuelta). El reductor interno tiene una relación de 1/64. Combinados, la precisión total es de 4096 pasos por vuelta, equivalente a un paso de 0.088°, que es una precisión muy elevada (Crespo, 2016, párr.6).

La relación del reductor no es precisamente 1/64, sino 1/63.6875, que equivale a 4076 pasos por vuelta.

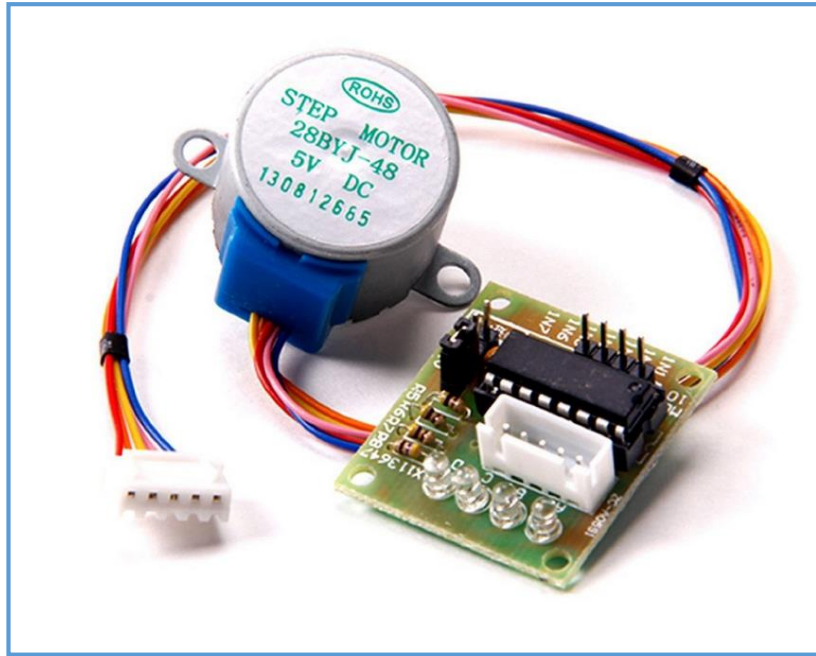


Figura 15. Motor paso a paso 28BYJ-48.

Fuente: (Crespo, 2016).

El motor paso a paso del kit es 28BYJ-48 y los parámetros del motor paso a paso son:

- Modelo: 28BYJ-48
- Tensión nominal de entre 5V y 12 V.
- 4 Fases.
- Resistencia 50 Ω .
- Par motor de 34 Newton / metro más o menos 0,34 kg por cm.
- Consumo de unos 55 mA.
- 64 pasos por vuelta (**con medios pasos**).

- Reductora de 1 / 64.
- Angulo de paso: 5,625°.
- Frecuencia: 100Hz.
- Resistencia de la C.C.: $50\Omega \pm 7\%$ (25 ° C).
- En tracción par > 34.3mN.m(120Hz).
- Posicionamiento automático par > 34.3mN.m.
- Par de fricción: 600-1200 gf.cm.
- Resistencia de aislamiento > $10M\Omega$ (500V).
- Aislantes de electricidad: 600VAC/1mA/1s.
- Grado de aislamiento: A.
- Subida de temperatura < 40K(120Hz).
- Ruido < 35dB (120Hz, No carga, 10cm) (Crespo, 2016, párr.5).

4.4.3.2. *Driver para Motor Bipolar 28BYJ-48*

Driver del motor

- Tamaño: 42 mm × 30 mm
- Chip de controlador de uso ULN2003, 500 mA
- LEDs A, B, C, D indica las cuatro fases las condiciones de trabajo motor paso a paso.
- Conector blanco estándar motor paso a paso.
- Pines de alimentación separados (Crespo, 2016, párr.7).

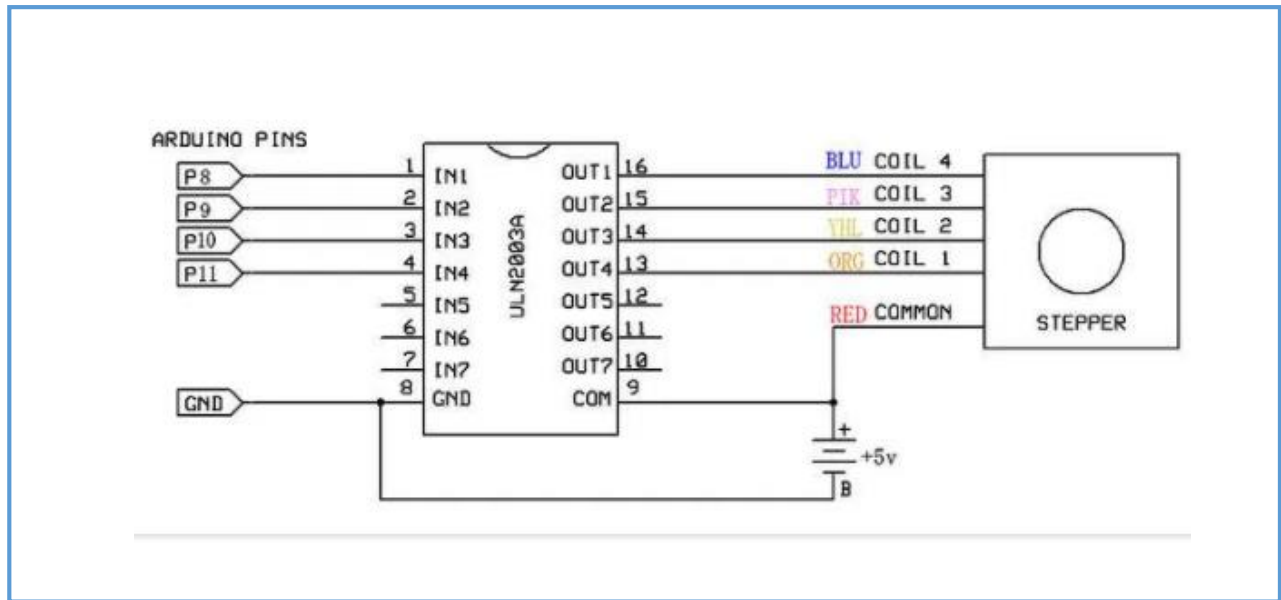


Figura 16. Conexiones de la placa driver.

Fuente: (Crespo, 2016).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

Computador

Autodesk® Student AutoCAD 2016.

Software de modelado y diseño en 2D y 3D.

Material bibliográfico.

- Libro de diseño de máquinas.
- Proyectos de grados relacionados con métodos de corte de botellas de vidrio.

Durante el diseño de la máquina se obtuvo datos experimentales, referentes a la fuerza aplicada en el vidrio para su corte, los materiales utilizados para este apartado se detallan en el Anexo 1.

5.2. MÉTODOS

Para la realización de la metodología se tiene como datos la información brindada por la microempresa E-glass, por lo cual se establece como base el método de corte para producción de vasos y así desarrollar casi uno de los sistemas propuestos.

5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA.

La microempresa E-glass, trabaja principalmente con botellas personales no retornables (botellas redondas) como son botellas de Corona, Heineken, Club, Pilsener, etc., los clientes

prefieren botellas transparentes, siendo la botella de cerveza Corona la más solicitada, también se trabaja con botellas que contienen otros líquidos. Actualmente este proceso se ejecuta de forma manual, con lo que se alcanza una producción aproximada de 200 vasos al día, por lo cual se propone que el proyecto de tesis incremente la producción diaria mediante el diseño y construcción de una máquina.

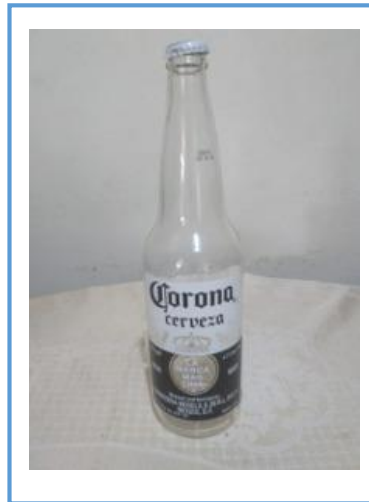


Figura 17. Envase de botella Corona.

Fuente: El autor.

Actualmente el corte de las botellas de vidrio se realiza de forma manual, (Anexo 2) en la cual el operario tiene que demarcar la botella en una guía, utilizando el indentador de un cortador de vidrio (Anexo 3), luego aplica calor sobre el demarcado mediante una niquelina tipo resorte mientras se gira la botella manualmente (Anexo 4). Al momento de aplicar el calor el operario conecta y desconecta la resistencia mediante un interruptor para evitar fundirla.

5.3. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO

Para el diseño de la máquina cortadora de envases de vidrio se investigó diversos tipos de máquinas que realicen estos cortes, ya que la información sobre este tema no es amplia, se analizó los pocos diseños existentes basándose en el tamaño, capacidad, materiales, manufactura, etc.

Para cumplir los requerimientos de la empresa se propone un diseño que satisfaga los siguientes requisitos:

- Fuerza requerida aplicada en la botella a través del indentador para lograr el demarcado adecuado en el contorno de toda la botella.
- Sistema de sujeción de la botella.
- Sistema de avance y retroceso para demarcar y cortar la botella en la longitud deseada.
- Sistema de avance y retroceso de contrapunto.
- Revoluciones por minuto necesarias para hacer girar la botella.
- Temperatura adecuada para cortar la botella.

Luego del análisis de las distintas máquinas cortadoras de envases existentes, se propone el siguiente esquema de diseño (Figura 18), cumpliendo con lo requerido que es lograr construir una máquina cortadora de botellas, complementada con partes del proceso semiautomatizadas.

La máquina cortadora de botella consta de las siguientes partes:

1. Sujetador de botella.
2. Contrapunto.
3. Cortador de botella.
4. Niquelina.
5. Botella.
6. Caja reductora.
7. Motor.

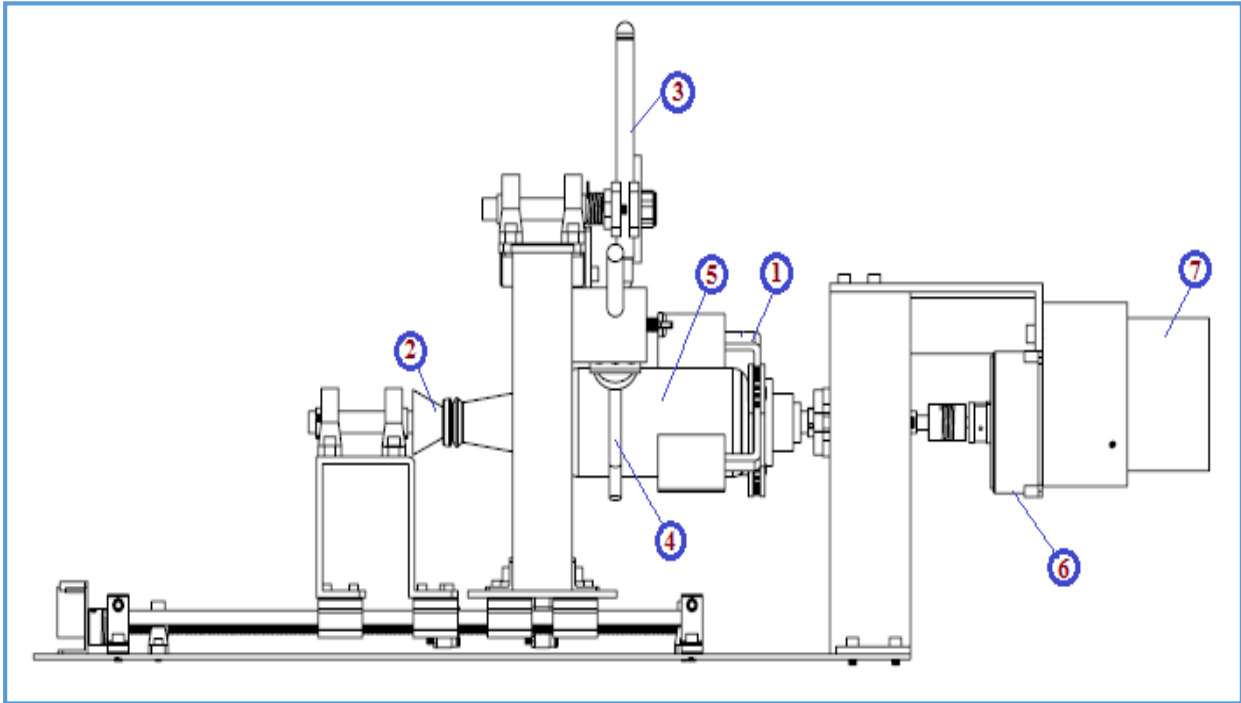


Figura 18. Esquema de diseño propuesto.

Fuente: El autor.

En base a los requerimientos de la microempresa se propone el siguiente diseño que establece los siguientes sistemas:

- Sistema de posicionamiento de la botella.
- Sistema de sujeción de la botella.
- Sistema de contrapunto.
- Sistema de demarcado de la botella.
- Sistema de aplicación de calor mediante niquelina.
- Sistema de longitud de vaso.
- Sistema de centrado de botella.

- Sistema de transmisión de potencia.
- Sistema de propuesta de control.

A continuación, se detalla el cálculo de cada uno de los componentes:

5.3.1. Diseño del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.

El sistema de posicionamiento de la botella de vidrio, se encarga de sujetar, rotar y soportar la botella. Se compone de las siguientes partes (Figura 19):

1. Motorreductor.
2. Sujetador concéntrico de tres soportes.
3. Botella.
4. Contrapunto.

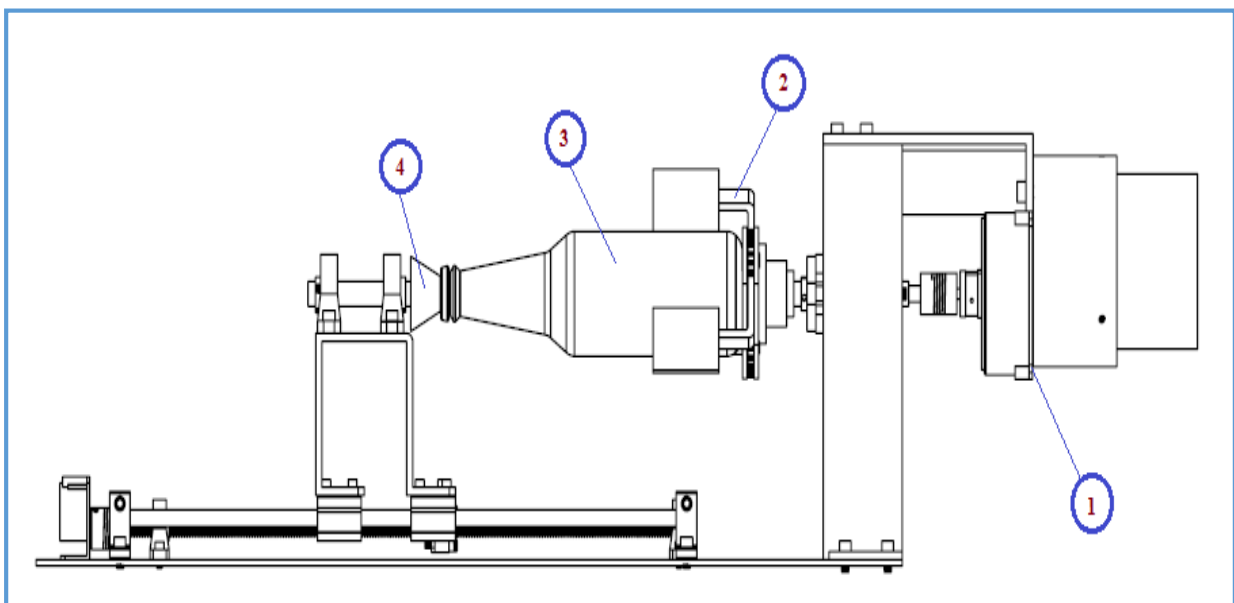


Figura 19. Partes del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.

Fuente: El autor.

5.3.1.1. *Diseño del sistema de sujeción de la botella.*

El diseño del sistema de sujeción se compone de un eje que transmite potencia a un sistema de engranajes, los cuales permiten un cierre concéntrico al momento de sujetar la botella, sus brazos están constituidos por un soporte y sobre este un caucho (Anexo 5) para mejorar el coeficiente de rozamiento (Figura 21). Está constituido por las siguientes partes (Figura 20):

1. Eje.
2. Acople.
3. Engranajes.
4. Brazos.
5. Soportes.
6. Cauchos.

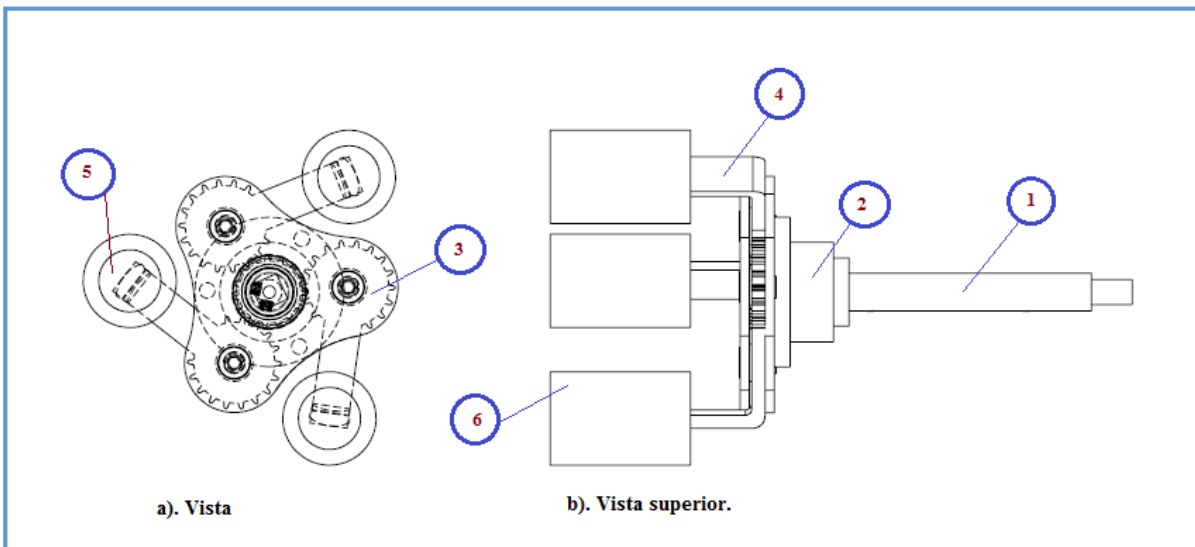


Figura 20. Partes del sistema de sujeción de la botella.

Fuente: El autor.

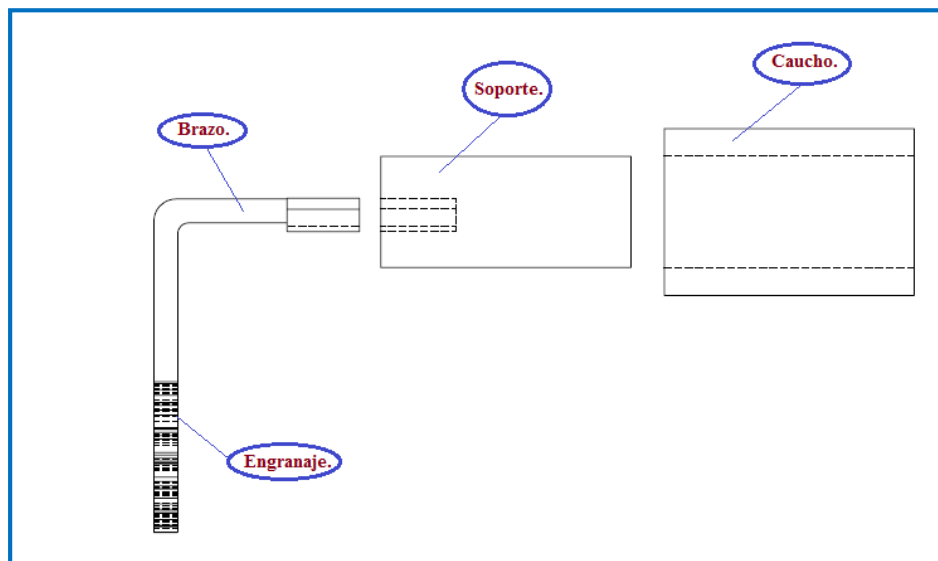


Figura 21. Partes del brazo del sujetador.

Fuente: El autor.

El presente diseño nos permite sostener botellas desde diámetros de 53 mm hasta 91,6 mm y de 20 cm a 34 cm de longitud (Figura 22).

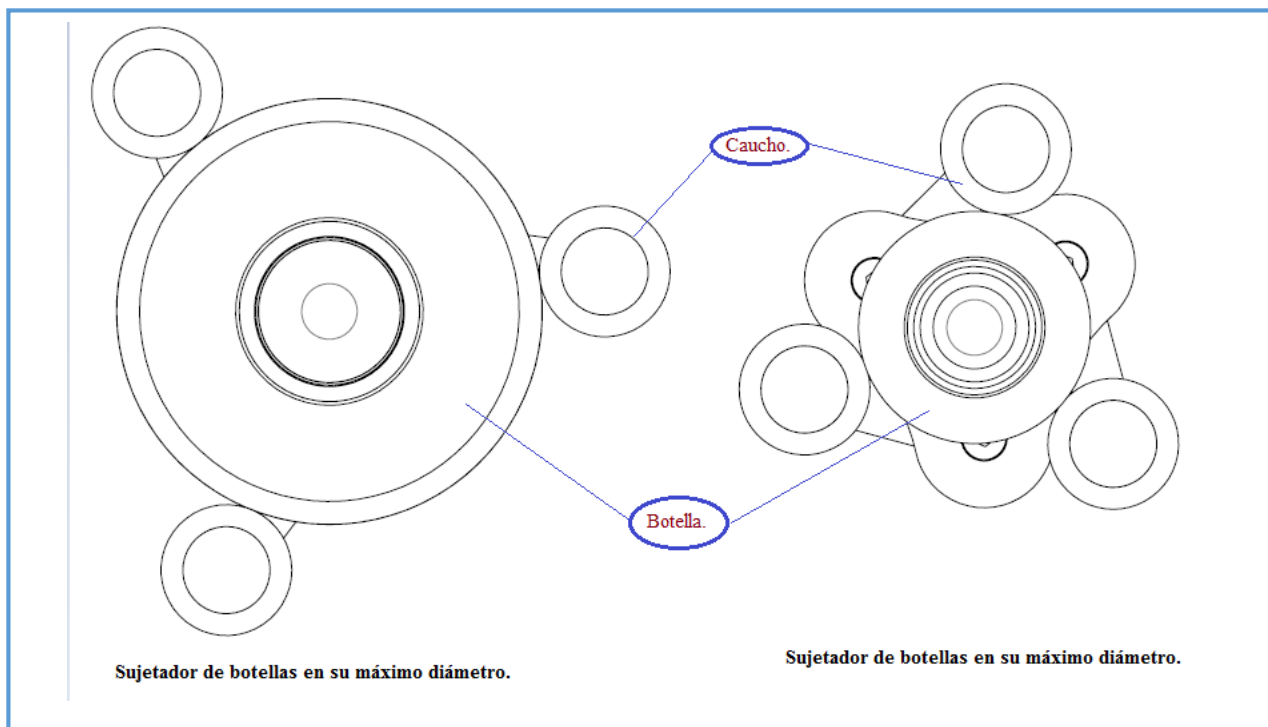


Figura 22. Diámetros del sujetador de botellas.

Fuente: El autor.

5.3.1.2. Diseño del sistema de contrapunto

El diseño de sistema de contrapunto permite sujetar la botella del otro extremo del sujetador (Anexo 6), permitiendo que la botella siempre se encuentre alineada y centrada con respecto a su eje de rotación (Figura 23).

Se constituye de las siguientes partes:

1. Base.
2. Chumaceras.
3. Eje de contrapunto.
4. Botella.

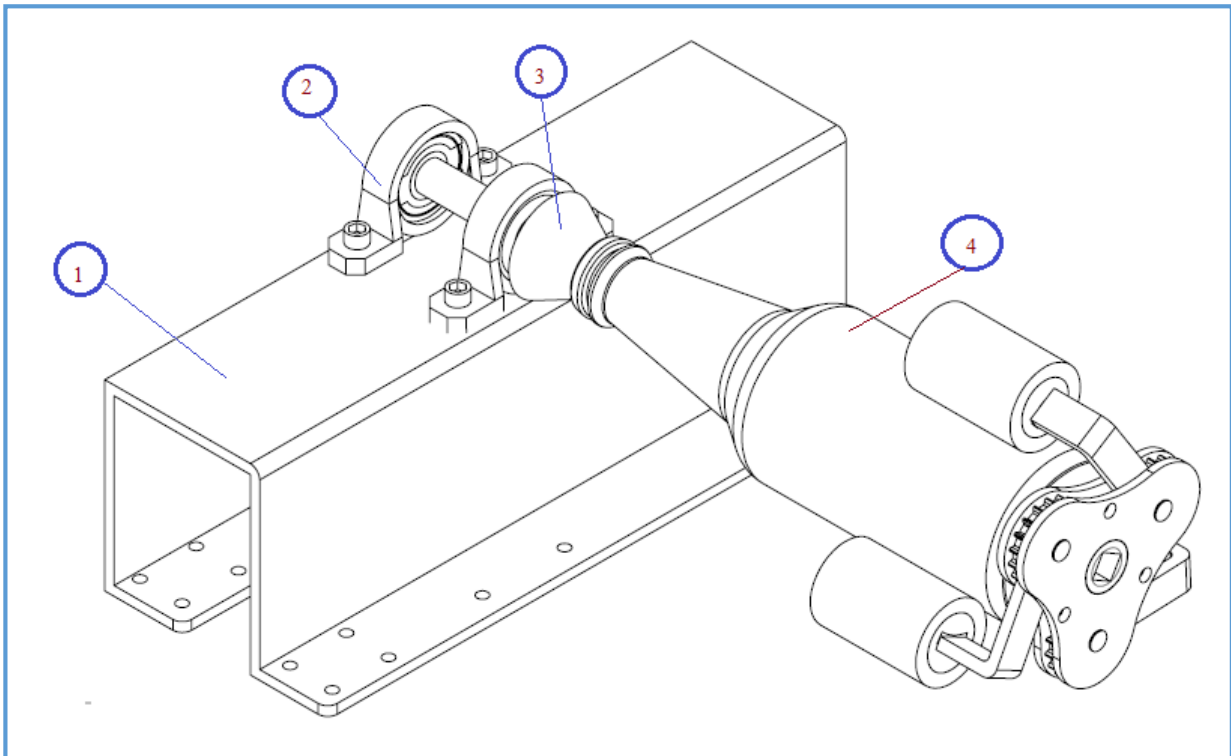


Figura 23. Partes del sistema de contrapunto.

Fuente: El autor.

5.3.2. Diseño del sistema de demarcación de la botella.

Este sistema es el encargado de realizar el precorte, es decir, el demarcado de la ruta de corte en la periferia de la botella. En este sistema se establecen los siguientes elementos:

- Selección de herramienta de corte.
- Fuerza necesaria para demarcar la botella.
- Dimensionamiento del sistema de demarcado.

A continuación, se describe la selección y diseño según corresponda de cada una de sus piezas.

5.3.2.1. Selección de herramienta de corte.

Existen distintos tipos de cortadores de vidrio, en este caso se escogió un cortador lubricado Toyo TC-17 (Anexo 7), el cual es un cortador profesional, dando como resultado un trabajo de calidad (Figura 24).

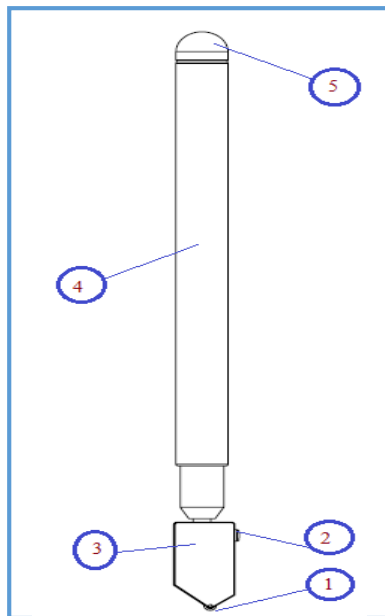


Figura 24. Partes del cortador Toyo TC-17.

Fuente: El autor.

El cortador de vidrio consta de las siguientes partes:

1. Rueda de carburo (indentador).
2. Cabeza del cortador.
3. Tornillo de ajuste.
4. Mango.
5. Tapa de depósito de aceite.

5.3.2.2. *Proceso para experimentación de fuerza de demarcado.*

Para obtener la fuerza necesaria de demarcado se procedió de la siguiente manera:

Se diseñó y construyó una pieza (Anexo 8) que permita mediante experimentación obtener dicho valor.

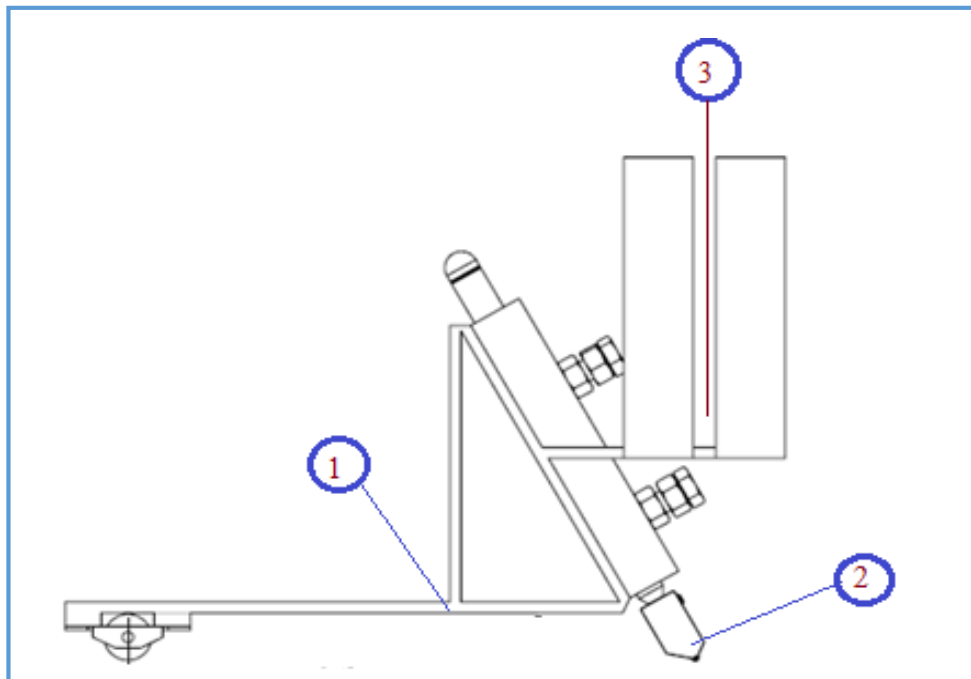


Figura 25. Pieza para experimentar corte.

Fuente: El autor.

Este elemento consta de las siguientes partes (Figura 25):

1. Pieza construida para la experimentación.
2. Cortador Toyo TC-17.
3. Base para colocar peso adicional.

Una vez construida la pieza para la experimentación se calculó el centro de masa a través del método de la plomada, método por el cual se suspende libremente alrededor de un punto de rotación para encontrar la distancia y el centro de masa de la pieza ($m_p=1,505$ kg) (Figura 26).

Estos datos son necesarios para el cálculo de la fuerza de demarcado.

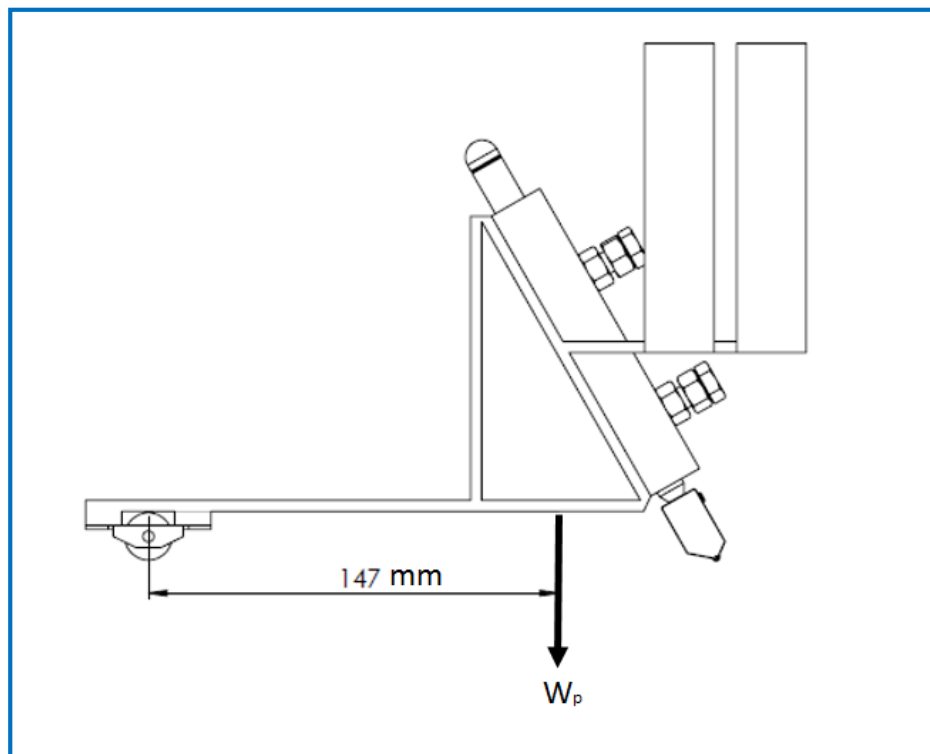


Figura 26. Centro de masa de la pieza para experimentación.

Fuente: El autor.

Una vez que se obtiene la fuerza de demarcación, se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre de la pieza y se obtiene lo siguiente (Figura 27):

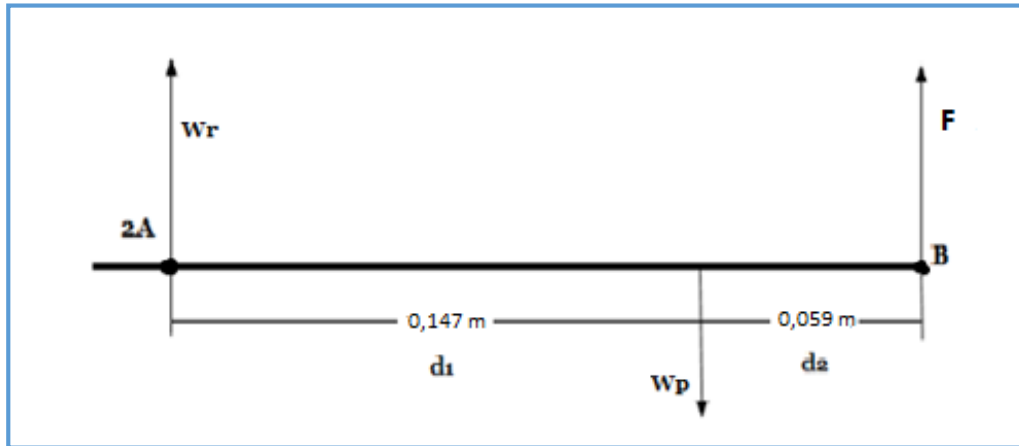


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre de la pieza.

Fuente: El autor.

Se utiliza el siguiente dato mencionado anteriormente.

$$m_p = 1,505 \text{ kg}$$

Se calcula el peso de la pieza que es igual a la masa por la gravedad.

$$W_p = m_p * g$$

$$W_p = 1,505 \text{ kg} * 9,81 * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 14,76 \text{ N}$$

Se realiza sumatoria de momentos para encontrar la fuerza que se obtiene en el indentador, la cual es la fuerza que se aplica para demarcar el vidrio (fuerza F).

$$\Sigma MA = 0$$

$$-W_p(0,147 \text{ m}) + F(0,206 \text{ m}) = 0$$

$$F = \frac{W_p(0,147 \text{ m})}{0,206 \text{ m}} = \frac{14,76 \text{ N} * (0,147 \text{ m})}{0,206 \text{ m}} = 10,53 \text{ N}$$

Debido a que la fuerza obtenida en el indentador es pequeña $F=10,53\text{ N}$ (Anexo 9), es decir, el demarcado no era el adecuado para lograr cortar el vidrio plano, se procedió a añadir peso.



Figura 28. Placas para proporcionar peso adicional.

Fuente: El autor.

El peso adicional se aplicó sobre la base construida para las placas y se procedió nuevamente a sacar el diagrama de cuerpo libre (Figura 29).

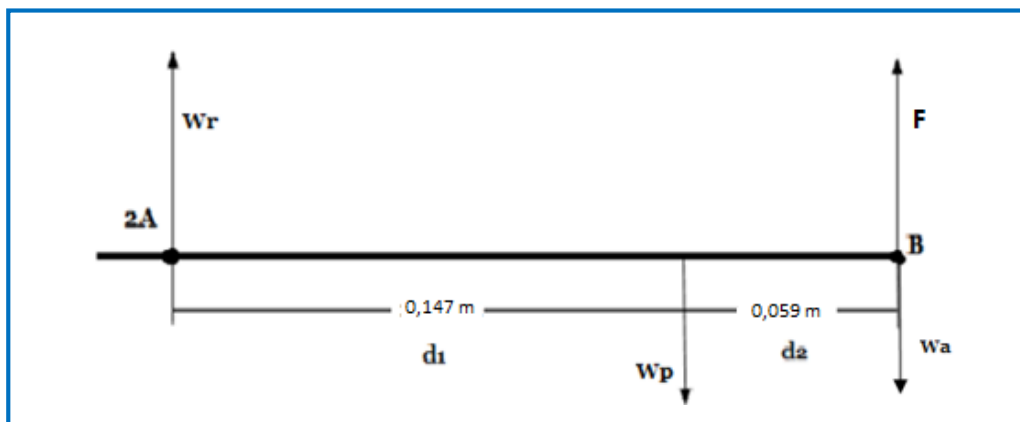


Figura 29. Diagrama de cuerpo libre de la pieza de experimentación más peso añadido.

Fuente: El autor.

Se realiza sumatoria de momentos para calcular la nueva fuerza en el indentador con una placa de peso adicional.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-W_p(0,147 \text{ m}) - W_a(0,206 \text{ m}) + F(0,206 \text{ m}) = 0$$

$$F = \frac{W_p(0,147 \text{ m}) + W_a(0,206 \text{ m})}{0,206 \text{ m}}$$

$$F = \frac{14,76 \text{ N} * (0,147 \text{ m}) + 1,1 \text{ N} (0,206 \text{ m})}{0,206 \text{ m}} = 11,61 \text{ N}$$

Una vez obtenido el resultado de la fuerza con una pieza de peso adicional aplicada en el indentador para demarcar el vidrio, se procede a obtener una tabla en la cual se obtienen valores con un sumando adicional de una placa, con un número total de 20 placas adicionales.

Tabla 1

Cálculo de fuerza en el indentador.

Número de pieza añadida	masa(kg)	Peso (N)	Fuerza en el indentador (N)	Calidad de corte
1	0,11	1,1	11,61	0
2	0,11	1,1	12,69	1
3	0,11	1,1	13,77	1
4	0,11	1,1	14,85	1
5	0,11	1,1	15,93	2
6	0,11	1,1	17,01	3
7	0,11	1,1	18,09	4
8	0,11	1,1	19,17	4
9	0,11	1,1	20,24	5
10	0,11	1,1	21,32	5
11	0,11	1,1	22,40	5
12	0,11	1,1	23,48	3
13	0,11	1,1	24,56	2
14	0,11	1,1	25,64	2
15	0,11	1,1	26,72	2
16	0,11	1,1	27,80	2
17	0,11	1,1	28,88	2
18	0,11	1,1	29,96	2
19	0,11	1,1	31,04	2
20	0,11	1,1	32,11	2

Fuente: Autoría propia.

Con la ayuda del Sr. Gabriel Jara Parra vidriero profesional, se realizaron pruebas sobre diferentes tipos de vidrios planos de diferentes espesores, calificando con una tabla de numeración la calidad de corte Tabla 2.

Se concluye que la calidad de corte adecuado es cuando se añade 10 placas para el demarcado, según las pruebas correspondientes el demarcado también es excelente con 9 y 11 placas añadidas (Anexo 10), por lo cual se considera este rango para la aplicación de corte.

Tabla 2.

Tabla de calificación de corte de vidrio.

Calidad de corte	Calificación.
0	Muy mala
1	Mala
2	Regular
3	Buena
4	Muy buena
5	Excelente

Fuente: Autoría propia.



Figura 30. Placas seleccionadas para experimentación de corte.

Fuente: El autor

Si se aplica más placas, es decir, si se demarca el vidrio con mayor fuerza, se obtiene un demarcado con astillas, lo que produce que el corte no sea tan limpio (Anexo 11).

5.3.2.3. *Dimensionamiento del sistema de demarcado de la botella.*

Una vez encontrada la fuerza necesaria para lograr demarcar la botella de vidrio, se procede a diseñar un sistema, incorporando un resorte torsional para aplicar dicha fuerza, este sistema está montado sobre un eje sujeto a dos chumaceras (Anexo 12) que le dan estabilidad (Figura 31).

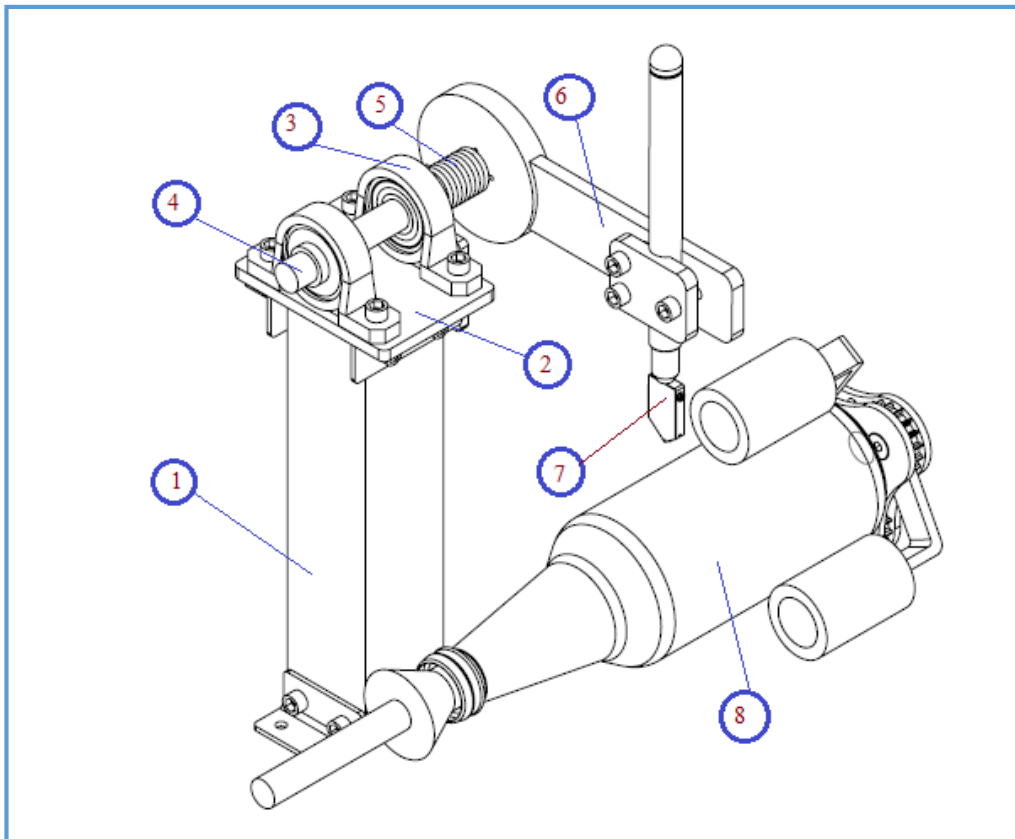


Figura 31. Partes del sistema de demarcado.

Fuente: El autor.

Este sistema consta de las siguientes partes:

1. Soporte.
2. Base de chumaceras.

3. Chumaceras.
4. Eje.
5. Resorte torsional.
6. Soporte para cortador.
7. Cortador Toyo TC-17.
8. Botella.

Ya que se desconoce el valor de la constante k del resorte, se procede a calcularla utilizando el método de balance de energías, colocando la pieza en posición inicial cero y añadiendo diferentes masas (W), obteniendo así diferentes ángulos directamente proporcionales a la masa aplicada.

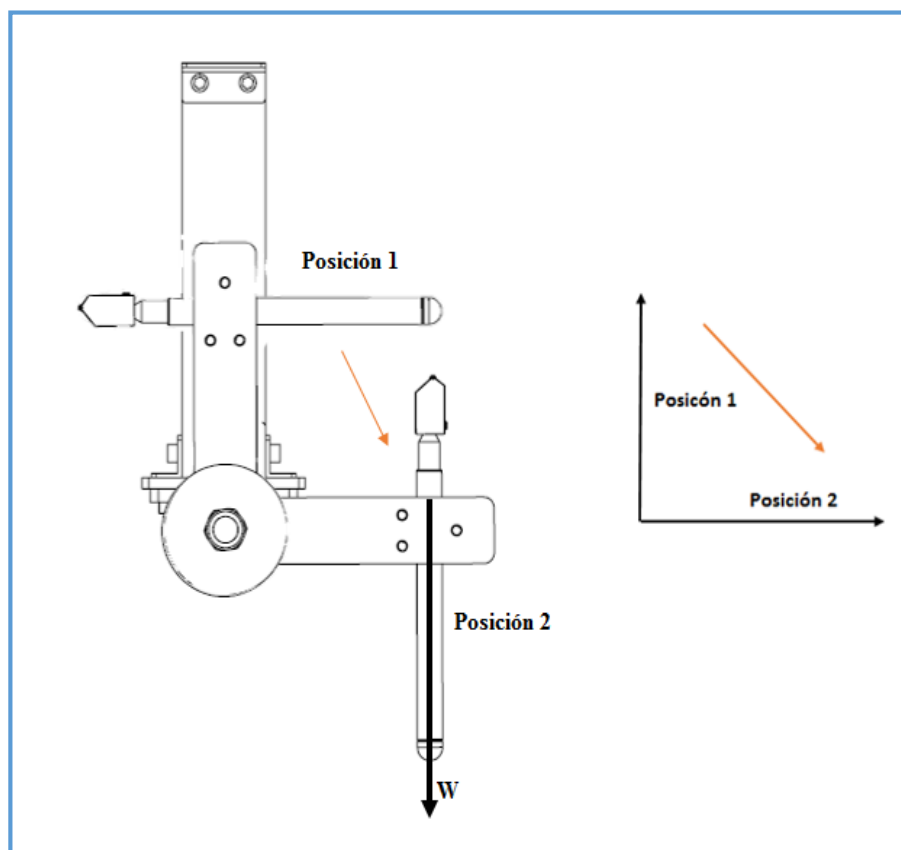


Figura 32. Obtención de datos para calcular la constante k del resorte.

Fuente: El autor.

En la Figura 33 se puede observar que para cada ángulo de desplazamiento se obtiene una altura h , valores que serán utilizados en las ecuaciones correspondientes para el cálculo de la constante k .

En la siguiente tabla se muestran los datos de las masas aplicadas para el cálculo de k .

Tabla 3.

Datos para calcular la constante k .

Masa (m)	Peso (kg)	Altura (m)	Ángulo (grados °)	Ángulo (radianes rad)
m1	0,279 kg	0,036	24,5	0,428
m2	0,564 kg	0,058	42	0,733

Fuente: Autoría propia.

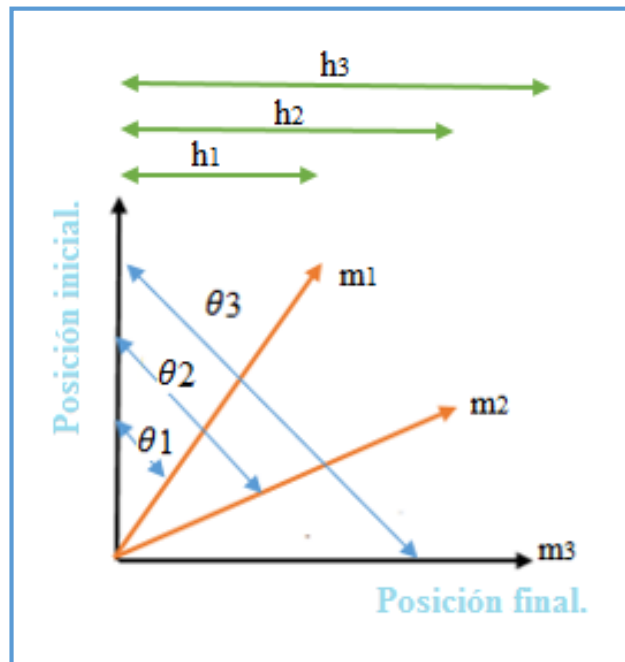


Figura 33. Representación gráfica.

Fuente: El autor.

Se realiza un balance de energías.

Energía potencial.

$$\Delta E_p = mgh \quad (17)$$

Energía potencial elástica.

$$U = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 \quad (18)$$

Se igualan las ecuaciones 17 y 18 y se obtiene:

Energía potencial = Energía potencial elástica.

$$mgh = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 \quad (19)$$

$$mgh = \frac{1}{2}k(\theta)^2 \quad (20)$$

Se despeja la constante k:

$$k = \frac{2mgh}{\theta^2} \quad (21)$$

De la Tabla 3 se reemplazan los valores en la ecuación 21 para calcular k_1 .

$$k_1 = \frac{2m_1gh_1}{\theta_1^2}$$

$$k_1 = \frac{2 * (0,279 \text{ kg}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,036 \text{ m}}{(0,428)^2} = \frac{0,197 \text{ Nm}}{0,183} = 1,08 \text{ Nm}$$

Así mismo se remplazan los valores en la ecuación 21 para calcular k_2 .

$$k_2 = \frac{2m_2gh_2}{\theta_2^2}$$

$$k_2 = \frac{2 * (0,564 \text{ kg}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,058 \text{ m}}{(0,733)^2} = \frac{0,642}{0,537} \text{ Nm} = 1,2 \text{ Nm}$$

Se obtiene el valor promedio.

$$\text{Prom } k = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

$$\text{Prom } k = \frac{1,08 \text{ Nm} + 1,2 \text{ Nm}}{2} = 1,14 \text{ Nm}$$

Ya que se obtiene el valor de la constante k se reemplaza la fórmula:

$$F = k * x$$

(22)

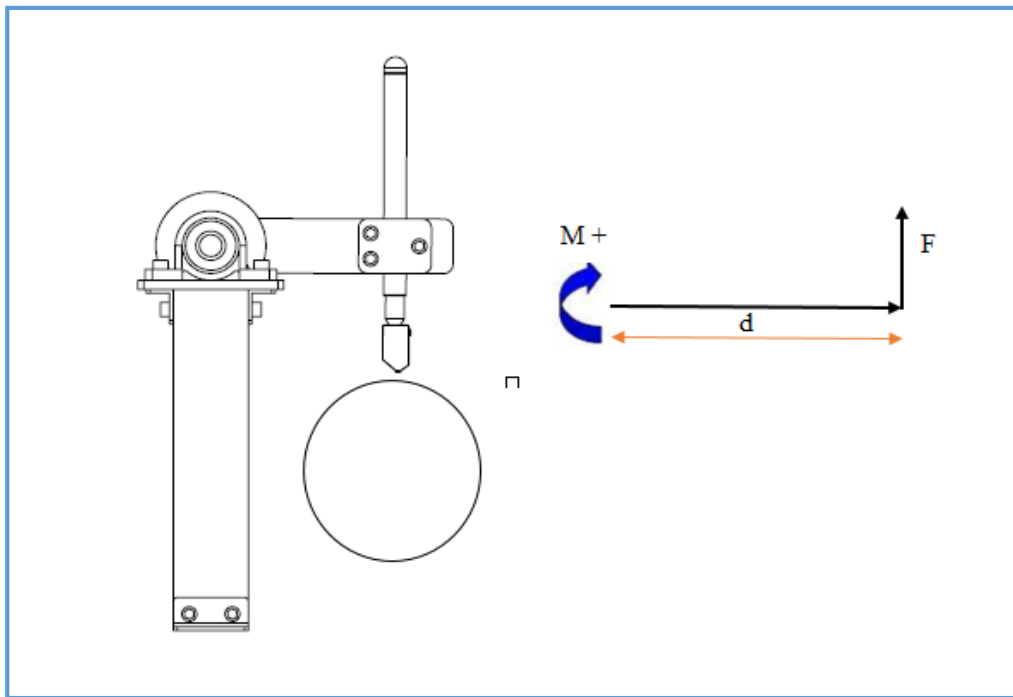


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre para ecuación 26.

Fuente: El autor.

Se resuelve:

$$F * d = k * \theta \quad (23)$$

Se obtiene:

$$\theta = \frac{F * d}{k} \quad (24)$$

En este caso la fuerza F será la fuerza mínima y máxima obtenidas durante la experimentación de la Tabla 1.

$$F_{\min} = 20,24 \text{ N y } F_{\max} = 22,4 \text{ N}$$

Se reemplaza la ecuación 24.

$$\theta_1 = \frac{F_{\min} * d}{k}$$

$$\theta_1 = \frac{20,24 \text{ N} * 0,088 \text{ m}}{1,137 \text{ Nm}} = 1,567 \text{ rad} = 89,8^\circ$$

Ahora se calcula θ_2 :

$$\theta_2 = \frac{F_{\max} * d}{k}$$

$$\theta_2 = \frac{22,4 \text{ N} * 0,088 \text{ m}}{1,137 \text{ Nm}} = 1,734 \text{ rad} = 99,3^\circ$$

Los ángulos obtenidos, el menor ($89,8^\circ$) y mayor ($99,3^\circ$) son los rangos en los cuales el demarcado es el más adecuado para que se realice el corte en la botella. El ángulo utilizado en el

sistema de demarcado es de 90° con respecto al soporte que lo sujeta, por esta razón se encuentra dentro de los rangos que califican como excelente al corte de la botella.

5.3.3. Diseño del sistema de aplicación de calor mediante niquelina.

El sistema de aplicación de calor consta de dos niquelinas moldeadas en una curvatura de radio de 31 cm y 45,5 cm. Dependiendo del diámetro de la botella a cortar se utiliza la niquelina correspondiente (Figura 35), calentando la botella durante 40 segundos.

Las niquelinas están acopladas sobre una barra deslizante de grilón que permite acercar y alejar de la botella para su corte según sea el caso (Anexo 13).

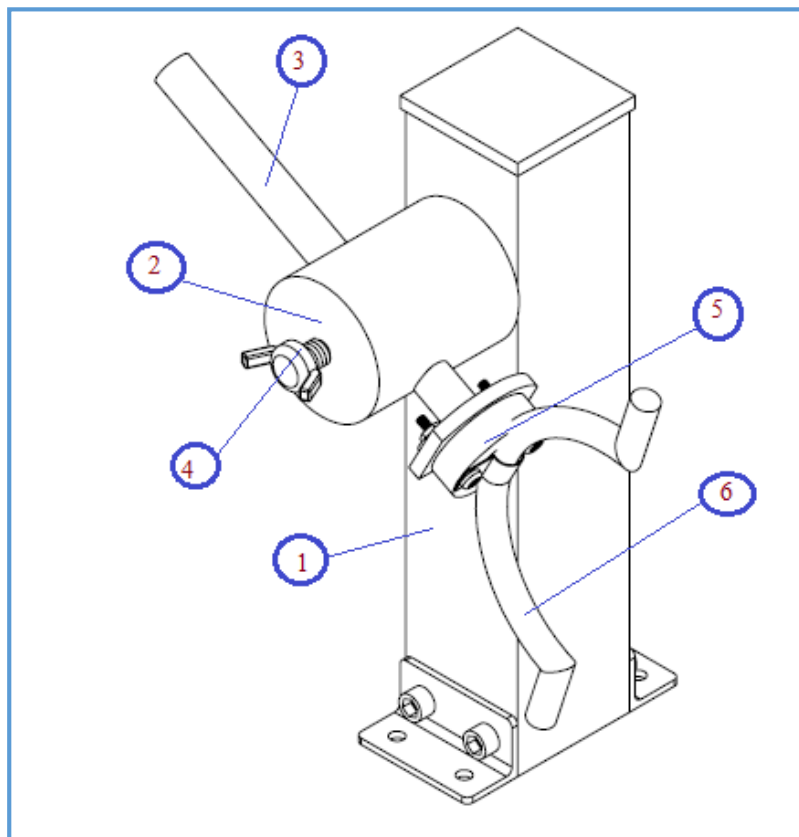


Figura 35. Partes del sistema de aplicación de calor.

Fuente: El autor.

El sistema de aplicación de calor está constituido por las principales partes:

1. Soporte vertical.
2. Guía para barra deslizante.
3. Barra deslizante.
4. Perno de sujeción.
5. Aislante.
6. Niquelina.

La niquelina se ubica en dos posiciones, la posición uno es la que está alejada de la botella y la segunda posición se la acerca a la botella dependiendo del diámetro de la misma (Figura 36).

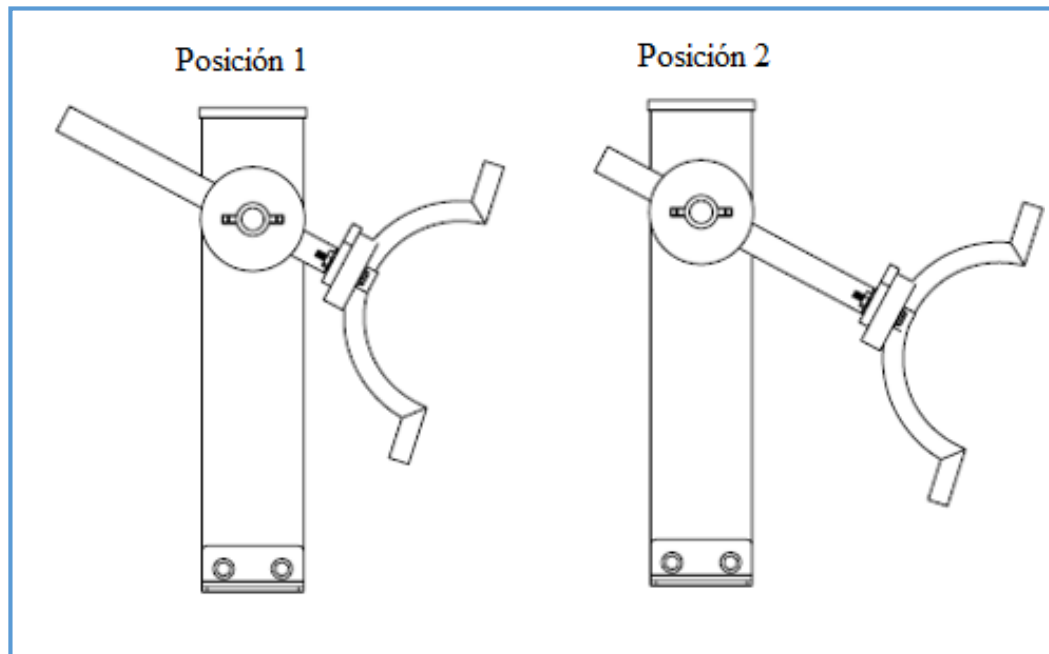


Figura 36. Posiciones de la niquelina.

Fuente: El autor.

Las niquelinas utilizadas se obtuvieron de una estufa y tienen longitudes de 16 cm ($5,7 \Omega$) y 24 cm ($8,3 \Omega$) respectivamente, estas fueron moldeadas según el radio requerido y se alimentaron con un transformador 110 V / 17.63 V.

5.3.4. Dimensionamiento del sistema de posición de longitud de vaso.

Para el dimensionamiento del sistema de posición de longitud de vaso, se diseñó un mecanismo que se desplaza de manera lineal sobre dos ejes montados en soportes verticales. Para lograr este desplazamiento se utiliza rodamientos lineales que permiten desplazar la base y es accionada mediante un servomotor que transmite potencia a un tornillo con tuerca y camisa que convierte el giro rotacional en desplazamiento lineal (Figura 37). Este sistema nos permite cortar la botella en la longitud deseada.

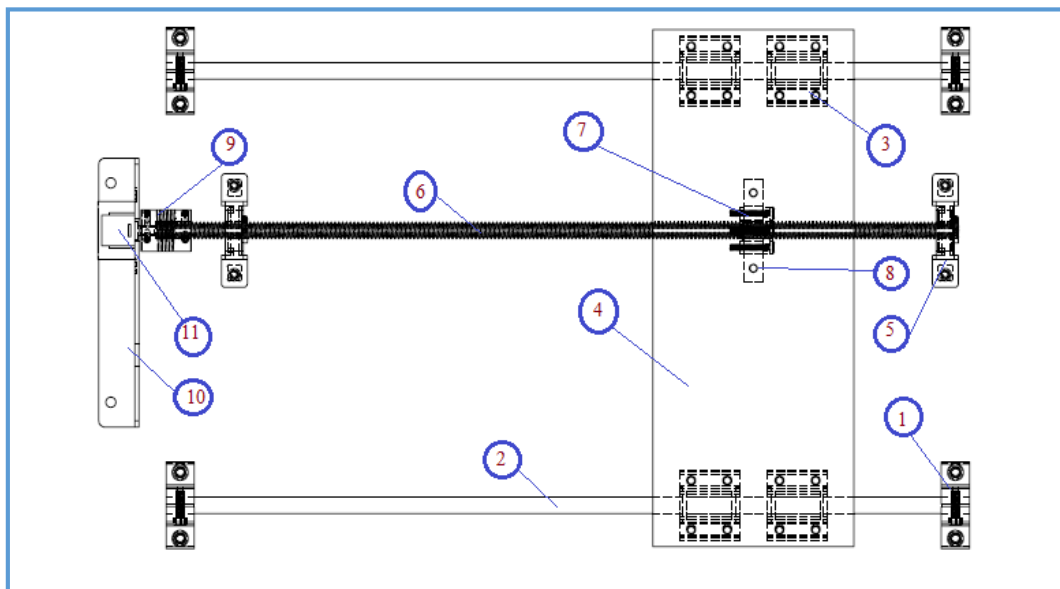


Figura 37. Partes del dimensionamiento del sistema de posición de longitud de vaso.

Fuente: El autor.

Este mecanismo consta de las siguientes partes:

1. Soportes verticales.
2. Ejes.

3. Rodamientos lineales.
4. Base.
5. Chumaceras.
6. Tornillo.
7. Tuerca.
8. Camisa.
9. Acople flexible.
10. Base para servomotor.
11. Servomotor.

En el sistema de posición de longitud de vaso se acoplan los sistemas antes mencionados (Figura 38), como son: sistema de demarcación de la botella y sistema de calentamiento.

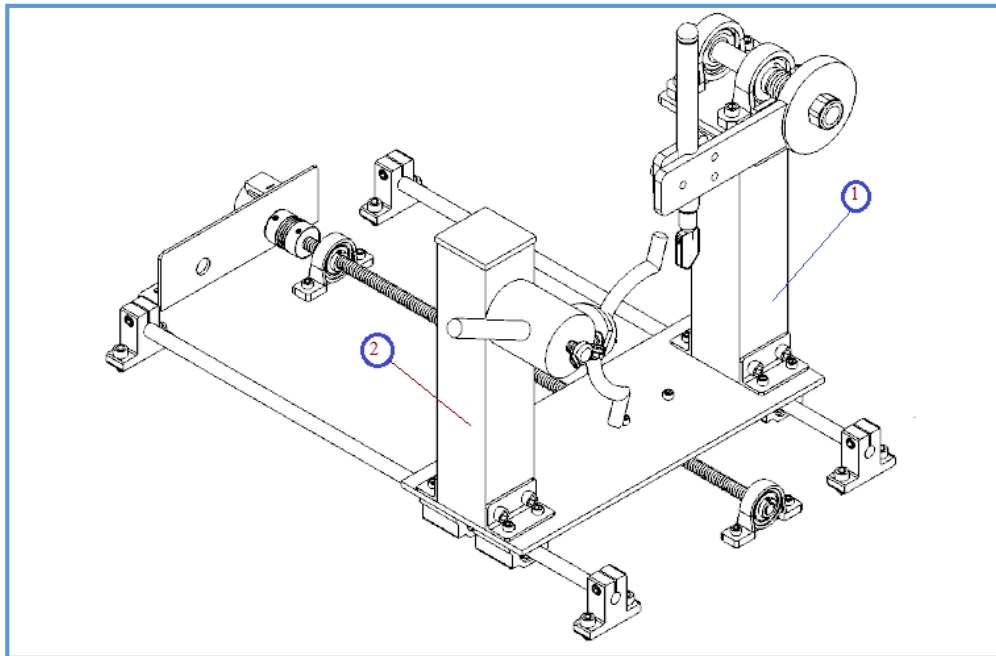


Figura 38. Sistemas montados sobre sistema de longitud de vaso.

Fuente: El autor.

4. Base.
5. Chumaceras.
6. Tuerca.
7. Camisa.
8. Acople.
9. Base para servomotor.
10. Servomotor.
11. Tornillo.

Este sistema permite asegurar la botella contra el sujetador para darle rigidez y siempre mantenerlo alineado en su propio eje.

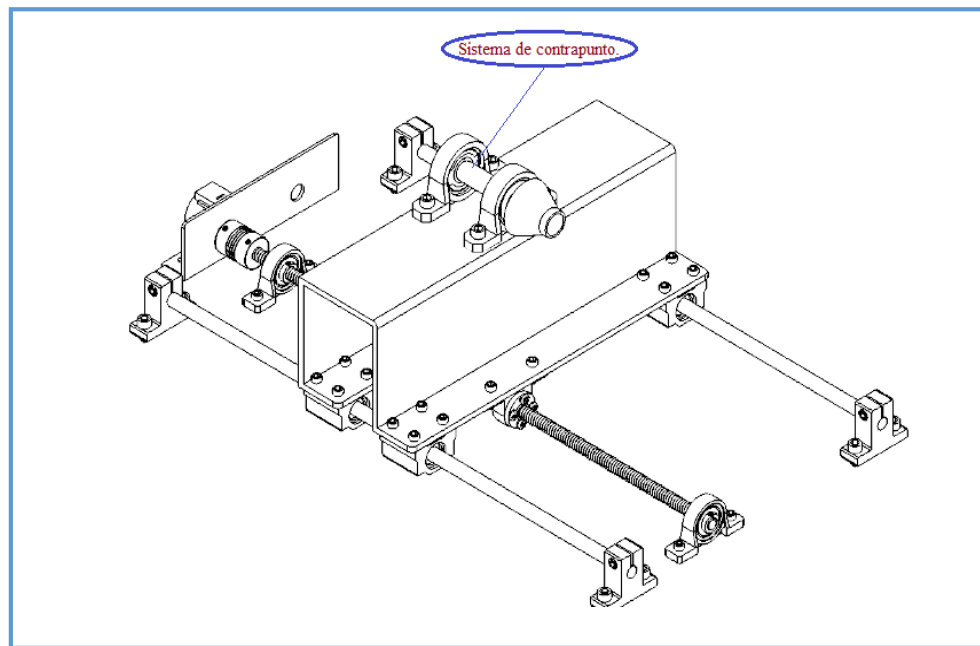


Figura 40. Sistema de contrapunto acoplado.

Fuente: El autor.

En el sistema de centrado de botella se acopla el sistema de contrapunto (Figura 40).

5.3.6. Sistema de transmisión de potencia.

El sistema de transmisión de potencia está compuesto por un motor acoplado a una caja reductora que transmite potencia hacia el sujetador de botellas.

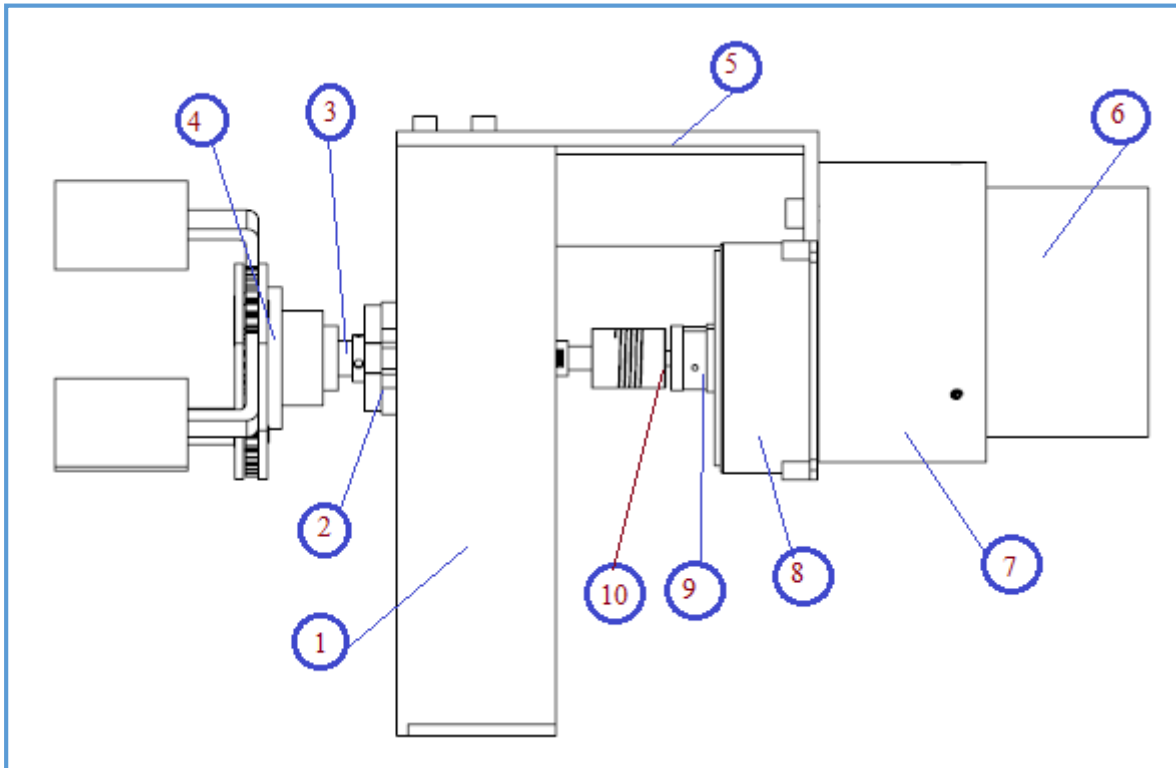


Figura 41. Partes del sistema de transmisión de potencia.

Fuente: El autor.

Las partes que conforman este sistema son:

1. Soporte para sistema de transmisión de potencia.
2. Chumacera.
3. Eje.
4. Sujetador de botellas.
5. Soporte para motorreductor.

6. Motor.
7. Acople para motor-caja reductora.
8. Caja reductora.
9. Acople caja reductora-acople flexible.
10. Acople flexible.

A continuación, se procede a realizar el cálculo para el diseño de estos sistemas:

5.3.6.1. Torque requerido del motor para sujetar la botella.

Para calcular el torque necesario para hacer girar la botella se emplea el método por rodadura, en el cual tenemos:

Ya que en este caso se tiene rodadura entre el indentador y el vidrio, se considera el caso de cuerpos rígidos (ideales), se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje Y con las respectivas fuerzas de la Figura 12 y se obtiene:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-W + N = 0$$

$$W = N$$

Este valor del peso es igual a la fuerza máxima aplicada para cortar el vidrio según la Tabla 1.

Se tiene que la fuerza de rozamiento es igual a la normal por el coeficiente de fricción, según el Anexo 30 se tiene coeficientes de fricción de carburo de tungsteno sobre carburo de tungsteno (0,2); sobre acero (0,5) y cobre (0,35), por lo que se toma el valor mayor de 0,5.

$$f_s = N * U_r$$

$$f_s = 22,40 \text{ N} * 0,5$$

$$f_s = 11,2 \text{ N}$$

Según la ecuación 8 y 9 se obtiene que el torque es igual:

$$T = f_s * r$$

Primero se calcula el torque en la botella:

$$T_{\text{botella}} = f_s * r_{\text{botella}}$$

$$T_{\text{botella}} = 11,2 \text{ N} * 0,046 \text{ m} = 0,52 \text{ Nm}$$

Luego se calcula el torque en el indentador.

$$T_{\text{indentador}} = f_s * r_{\text{indentador}}$$

$$T_{\text{indentador}} = 11,2 \text{ N} * 0,0017 \text{ m} = 0,02 \text{ Nm}$$

Se obtiene que el torque en la botella es mayor al del indentador, por lo cual se toma el valor de 0,52 Nm.

Para continuar con los cálculos se tiene rodadura entre el caucho del sujetador y la botella, por lo que se considera el caso de cuerpos deformables (reales).

Se despeja la ecuación 15 y se obtiene:

Ya que no hay un coeficiente de rodadura entre el caucho y el vidrio, se ha tomado el valor del

Anexo 31 que corresponde al dato: rueda sobre concreto con un valor de 0,042.

$$d = C_r * r = 0,042 * 0,015 = 0,00063 \text{ m}$$

De la ecuación 16 se despeja la normal N y se obtiene:

$$N = \frac{f_s * r}{d}$$

El valor de f_s se divide para 3 ya que son tres brazos.

$$N = \frac{\frac{11,2}{3} N * 0,015 m}{0,00063 m} = 88,89 N$$

Aplicando otra fórmula se obtiene el mismo resultado.

$$W = \frac{F}{C_r} = \frac{3,73 N}{0,042} = 88,89 N$$

Se realiza el análisis correspondiente en el diámetro de la botella mayor para calcular el torque existente en el brazo, para lo cual se obtienen ángulos y longitudes entre el rodillo y la botella.

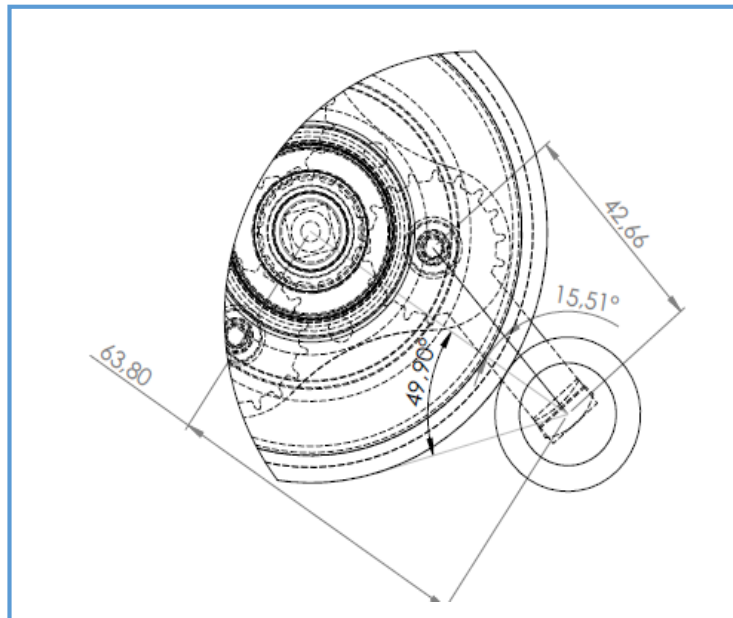


Figura 42. Análisis de fuerzas en la botella de mayor diámetro.

Fuente: El autor.

Se representan las fuerzas que actúan hacia el centro del engranaje para obtener el valor deseado, así mismo se calculan las componentes de la longitud (L') entre el rodillo y el punto de apoyo del brazo.

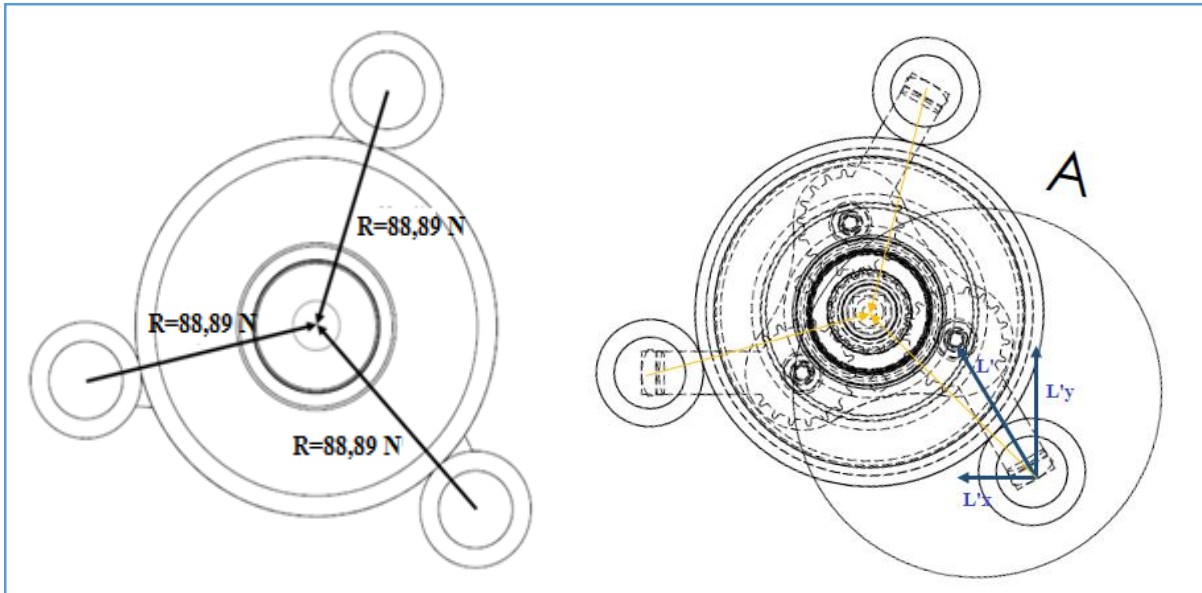


Figura 43. Representación de fuerzas.

Fuente: El autor.

Se realiza el cálculo de la componente $L'x$.

$$L'x = L' * \cos(65,41)$$

$$L'x = 42,66 \text{ mm} * \cos(65,41) = 17,89 \text{ mm}$$

Se calculó, además, el componente $L'y$.

$$L'y = L' * \text{sen}(65,41)$$

$$L'y = 42,66 \text{ mm} * \text{sen}(65,41) = 38,73 \text{ mm}$$

Se representa el diagrama de fuerzas con el ángulo obtenido de $49,9^\circ$ y se la representa sobre la Figura 42.

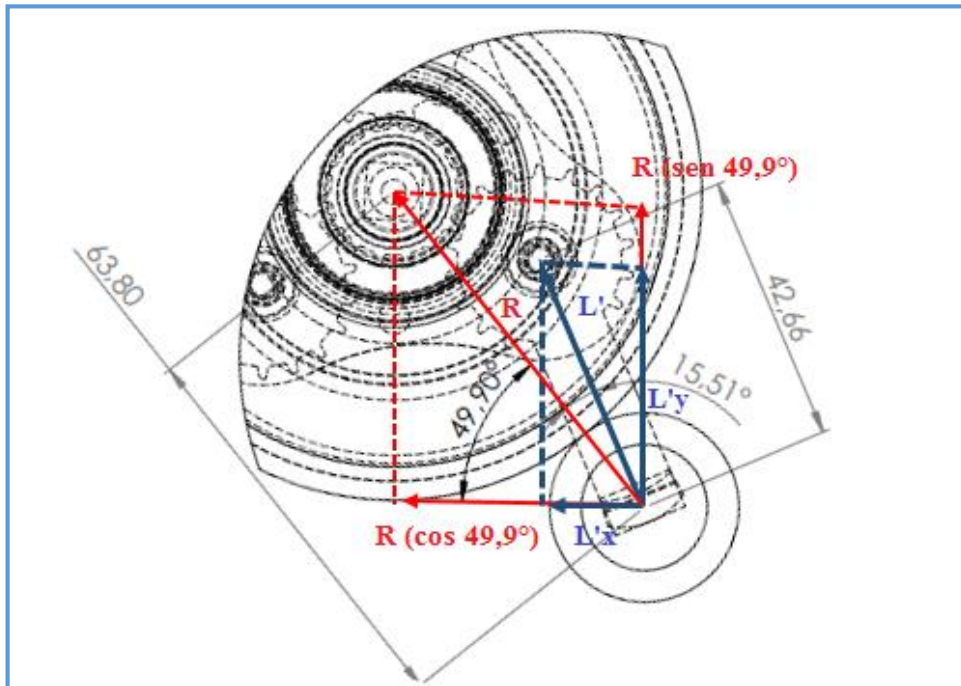


Figura 44. Diagrama de fuerzas que actúan en el sujetador de botellas.

Fuente: El autor.

Se resuelve mediante sumatoria de momentos:

$$\Sigma M = M_{\text{total}}$$

$$(-R * \cos(49,9) * L'y) + (R * \text{sen}(49,9) * L'x) = M_{\text{total}}$$

$$(-R * \cos(49,9) * 0,039 \text{ m}) + (R * \text{sen}(49,9) * 0,018 \text{ m}) = M_{\text{total}}$$

$$(-88,89 \text{ N} * \cos(49,9) * 0,039 \text{ m}) + (88,89 \text{ N} * \text{sen}(49,9) * 0,018 \text{ m}) = M_{\text{total}}$$

$$(-57,26 \text{ N} * 0,039 \text{ m}) + (66,99 \text{ N} * 0,018 \text{ m}) = M_{\text{total}}$$

$$(-2,23 \text{ Nm} + 1,2 \text{ Nm}) = M_{\text{total}}$$

$$-1,03 \text{ Nm} = M_{\text{total}}$$

El torque obtenido en el brazo del sujetador con la botella de mayor diámetro es de 1,03 Nm.

Se realiza el mismo análisis en el diámetro de la botella menor para calcular el torque existente en el brazo.

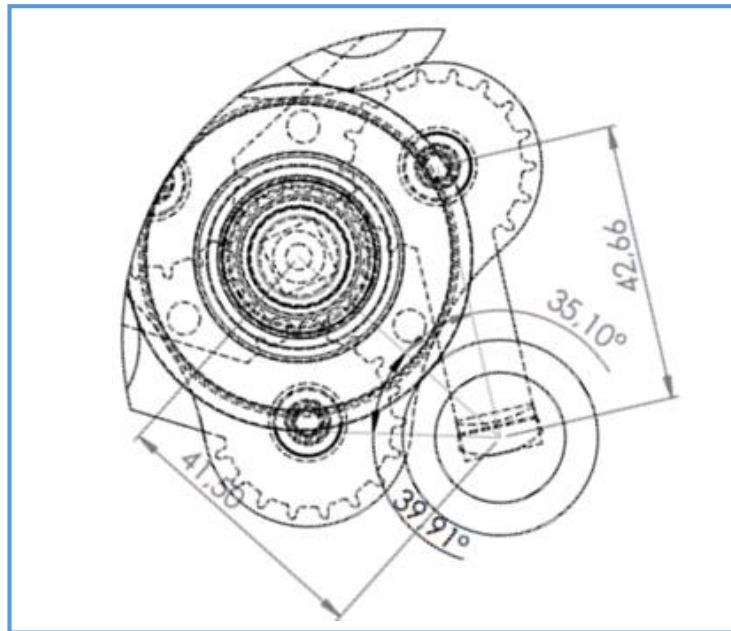


Figura 45. Análisis de fuerzas en la botella de menor diámetro.

Fuente: El autor.

Se representan las fuerzas que actúan hacia el centro del engranaje para obtener el valor deseado.

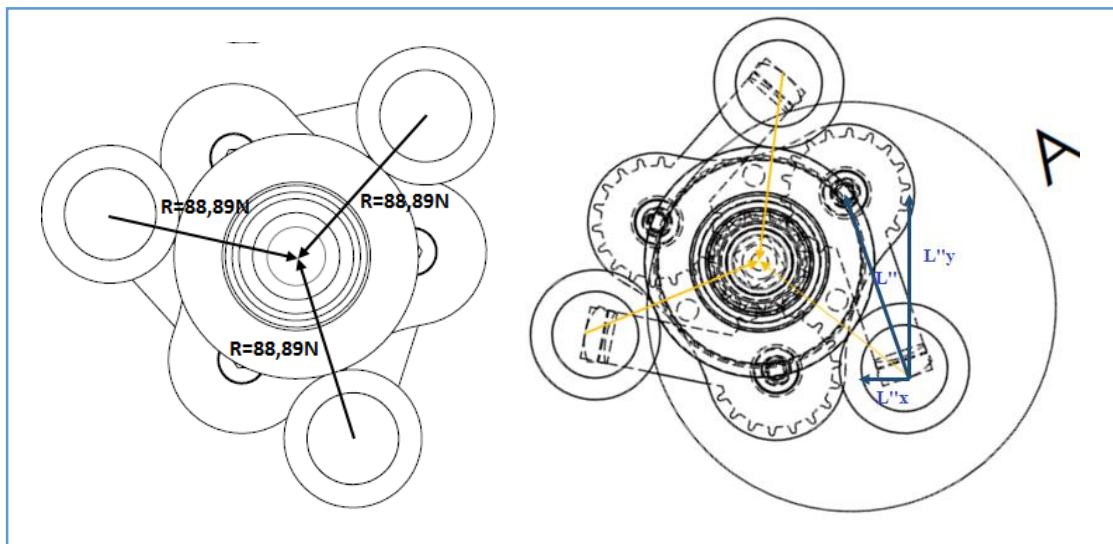


Figura 46. Representación de fuerzas.

Fuente: El autor.

Se realiza el desarrollo:

$$L''_x = L'' * \cos(75,01)$$

$$L''_x = 42,66 \text{ mm} * \cos(75,01) = 11,03 \text{ mm}$$

$$L''_y = L'' * \sin(75,01)$$

$$L''_y = 42,66 \text{ mm} * \sin(65,41) = 41,21 \text{ mm}$$

Se representa el diagrama de fuerzas con el ángulo obtenido de $39,91^\circ$ y se la representa sobre la Figura 45.

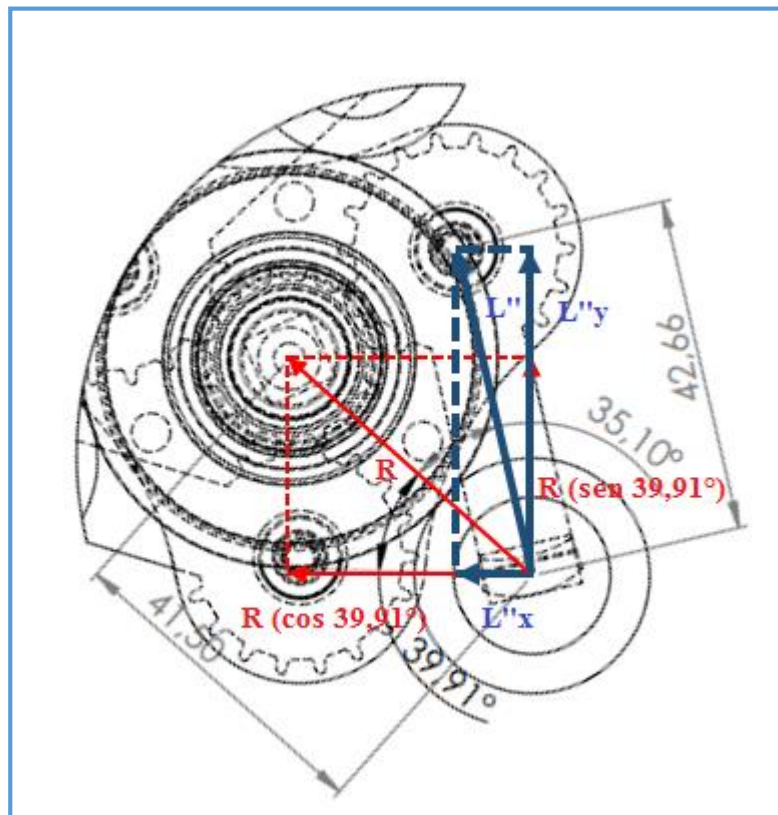


Figura 47. Diagrama de fuerzas.

Fuente: El autor.

Se resuelve mediante sumatoria de momentos:

$$\Sigma M = M_{\text{total}}$$

$$(-R * \cos(39,91) * L''y) + (R * \sin(39,91) * L''x) = M_{total}$$

$$(-R * \cos(39,91) * 0,041 \text{ m}) + (R * \sin(39,91) * 0,011 \text{ m}) = M_{total}$$

$$(-88,89 \text{ N} * \cos(39,91) * 0,011 \text{ m}) + (88,89 \text{ N} * \sin(39,91) * 0,041 \text{ m}) = M_{total}$$

$$(-68,18 \text{ N} * 0,041 \text{ m}) + (57,03 \text{ N} * 0,011 \text{ m}) = M_{total}$$

$$(-2,793 \text{ Nm} + 0,62 \text{ Nm}) = M_{total}$$

$$-2,17 \text{ Nm} = M_{total}$$

El torque obtenido en el brazo del sujetador con la botella de menor diámetro es de 2,17 Nm.

Si se compara el torque en relación del diámetro mayor que es 1,03 Nm y el torque de la botella de diámetro menor que es 2,17 Nm se tiene que este es mayor, por lo que se utiliza este valor para el cálculo correspondiente.

5.3.6.2. *Relación de transmisión piñón- engranaje*

Se obtiene los datos del piñón y engranaje y se procede a sacar la relación de transmisión.

Piñón= Z=15

Engranaje= Z=19

Relación de transmisión

$$i = \frac{Z_{conducida}}{Z_{conductora}}$$

$$i = \frac{19}{15} = 1,27$$

Se calcula el torque en el piñón, el cual es igual al torque máximo por los 3 brazos del sujetador, dividido para la relación de transmisión.

$$T_{piñon} = \frac{2,173 \text{ Nm} * 3}{1,26} = 5,17 \text{ Nm}$$

Se calcula el torque total con un factor de servicio (Anexo 32) de 1,25.

El n_T es igual a 0,85 de la transmisión del sujetador, más 0,8 del acople, más 0,7 del rendimiento del motor, que nos da como resultado un rendimiento total de 0,783.

$$T_{\text{total}} = \frac{T_{\text{piñon}} * fs}{n_T}$$

$$T_{\text{total}} = \frac{5,174 \text{ Nm} * 1,25}{0,783} = 8,26 \text{ Nm}$$

Se tiene como resultado que el torque requerido para lograr cortar la botella de menor diámetro es de 8,26 Nm.

5.3.6.3. *Potencia del motor.*

Debido al torque requerido y a las bajas rpm necesarias para demarcar la botella, se acopló un motor a una caja reductora, obteniendo así, las rpm y torque que satisfacen las condiciones deseadas (Anexo 14).

A continuación, se muestra la tabla característica del motor.

Tabla 4.

Datos característicos del motor.

Potencia (HP)	Corriente (A)	RPM	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)
1/20	1,8	1550	120	60

Fuente: Adaptación al autor.

A continuación, se obtiene la velocidad en rad/s y la potencia del motor en watts.

$$n = 1550 \text{ rpm}$$

$$P_m = \frac{1}{20} \text{ HP}$$

$$\frac{1}{20} \text{ HP} * \frac{746\text{W}}{1\text{HP}} = 37,3 \text{ W}$$

$$w = 1550 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi\text{rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1\text{min}}{60 \text{ seg}} = 162,32 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se calcula el torque en el motor:

$$T_m = \frac{P_m}{w}$$

$$T_m = \frac{37,3\text{W}}{162,32 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,23\text{Nm}$$

El torque del motor es 0,23 Nm, por lo que es necesario acoplar a la caja reductora (Anexo 14).

5.3.6.4. Caja reductora.

La caja reductora tiene una relación de transmisión de $i=118$, por lo que acoplado el motor con 1550 rpm se obtiene en la salida 13,10 rpm con un torque de 27,21 Nm el cual es mayor a 8,26 Nm que es el torque requerido (Anexo 15).

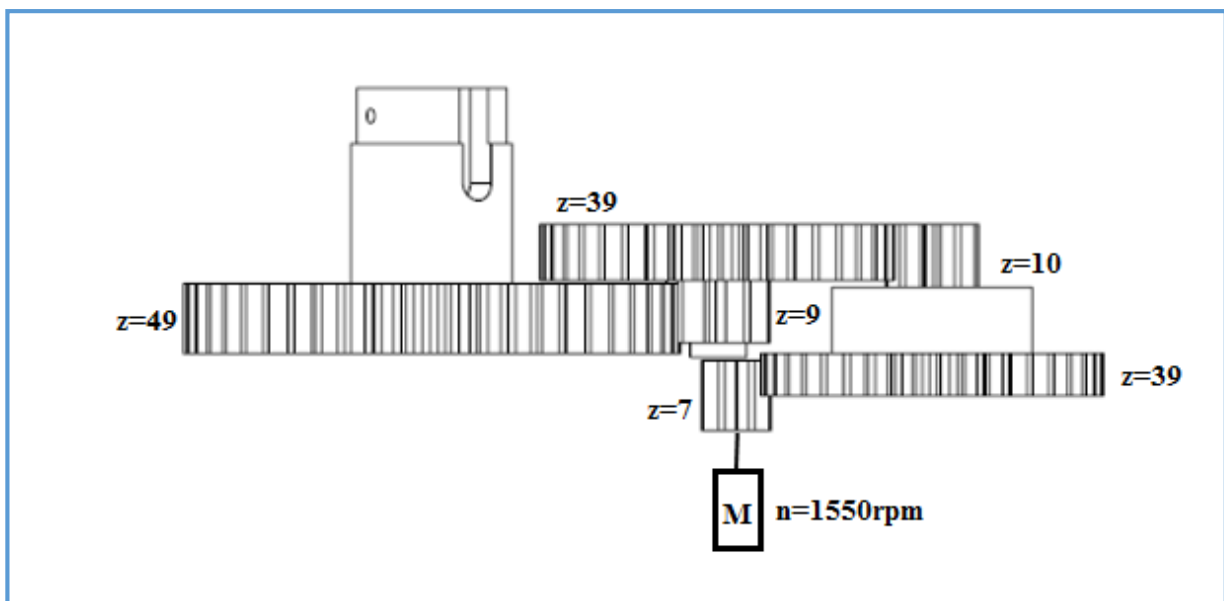


Figura 48. Caja reductora.

Fuente: El autor.

La relación de transmisión es igual:

$$i = 118,32$$

$$\frac{1550 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{13,10 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 118,32$$

$$118,32 * 0,23\text{Nm} = 27,21\text{Nm. Torque obtenido.}$$

5.3.6.5. Cálculo del diámetro del eje mediante la teoría de la distorsión.

Primero se dibuja el diagrama de cuerpo libre del eje.

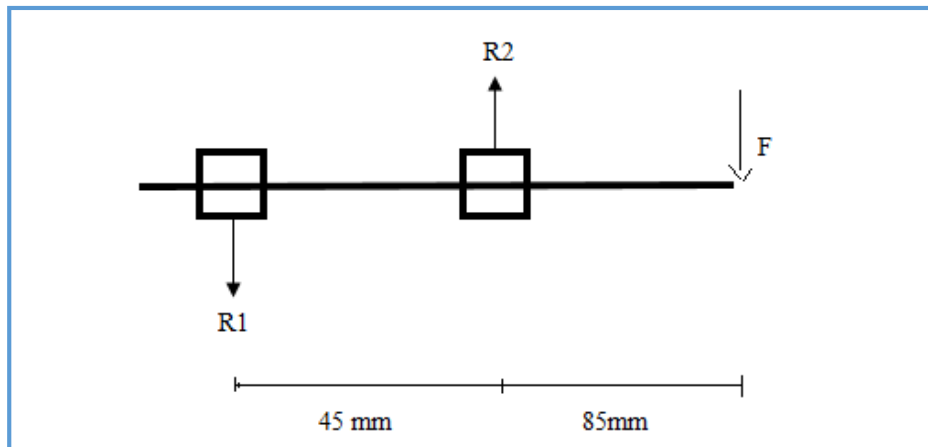


Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del eje.

Fuente: El autor.

Se calcula la fuerza F la cual es igual a la masa mayor de la botella a cortar por la gravedad.

$$F = m_b * g$$

$$F = 0,682 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6,69 \text{ N}$$

Ahora se calcula la sumatoria de momentos con respecto a R₁.

$$\sum MR_1 = 0$$

$$R_2 * 45 \text{ mm} - (6,69 \text{ N} * 130 \text{ mm})$$

$$R_2 = 19,32$$

Se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\sum M_y = 0$$

$$-R_1 + 19,32 \text{ N} - 6,69 \text{ N}$$

$$R_1 = 12,64 \text{ N}$$

Se grafica la fuerza cortante y el momento flector.

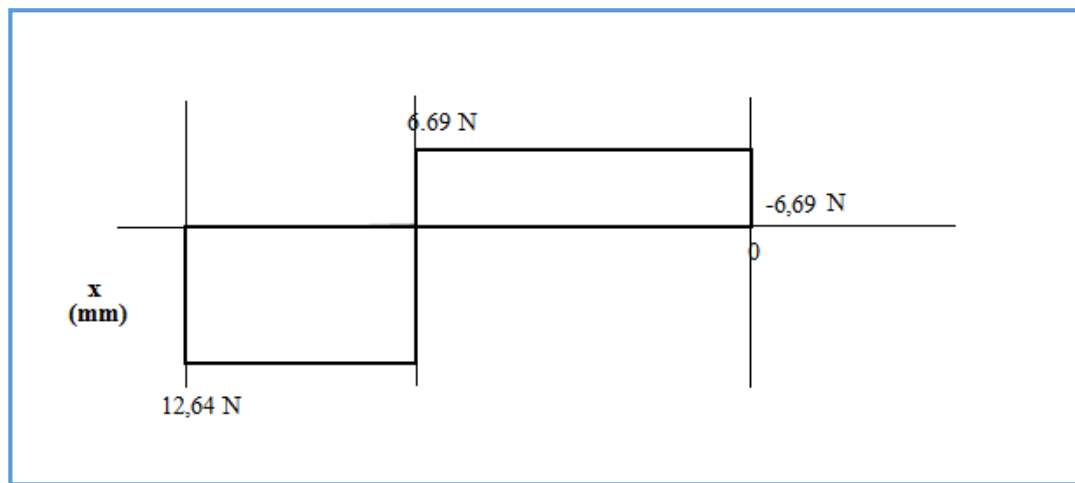


Figura 50. Fuerza cortante.

Fuente: El autor.

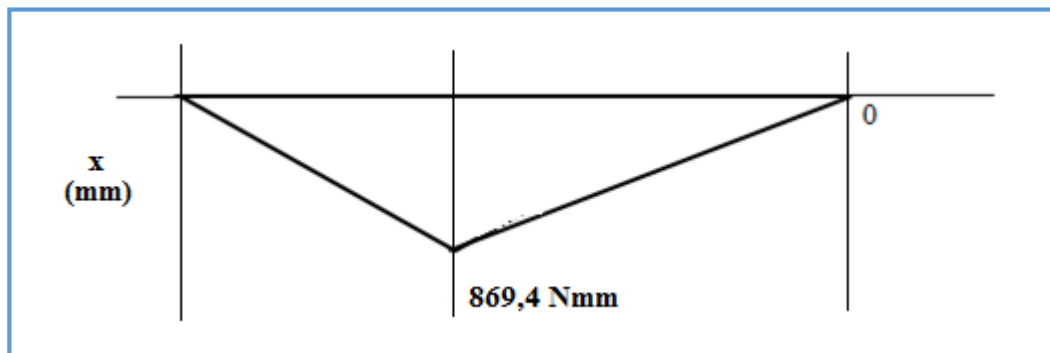


Figura 51. Momento flector.

Fuente: El autor.

Se tiene que el momento flector máximo es 0,87 Nm.

Se calcula también el momento torsor, este es igual a la potencia de diseño sobre las revoluciones por minuto del motor (tabla 4).

$$M_{\text{torsor}} = \frac{P \text{ diseño}}{w}$$

$$M_{\text{torsor}} = \frac{37,3 \text{ W}}{1,37 \text{ rad/s}} = 27,23 \text{ Nm}$$

Se calcula el diámetro del eje por la teoría de la distorsión.

$$\phi_{\text{eje}_{\text{TED}}} = \sqrt[3]{\left(\frac{32\eta_s}{\pi\sigma_y \text{ Aluminio 7075}}\right) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}M_T^2 + M_F^2}} \quad (25)$$

Se escoge un factor de seguridad $n_s = 3$ y un material aluminio 7075 con una resistencia a la tracción de $540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

Se resuelve:

$$\phi_{\text{eje}_{\text{TED}}} = \sqrt[3]{\left[\frac{32(3)}{\pi(540 \times 10^6)}\right] \cdot \sqrt{\frac{3}{4}27,23 \text{ Nm}^2 + 0,87 \text{ Nm}^2}}$$

$$\phi_{\text{eje}_{\text{TED}}} = 0,01101\text{m} = 11,01\text{mm}$$

Ya que el diámetro calculado es de 11,01 mm y el diámetro del eje disponible en el mercado, así como las chumaceras es de 12mm, se utiliza este diámetro en el diseño.

5.3.6.6. *Torque para motor del sistema de posición de longitud de vaso.*

Para el cálculo del motor paso a paso se utiliza el momento de giro y carga axial.

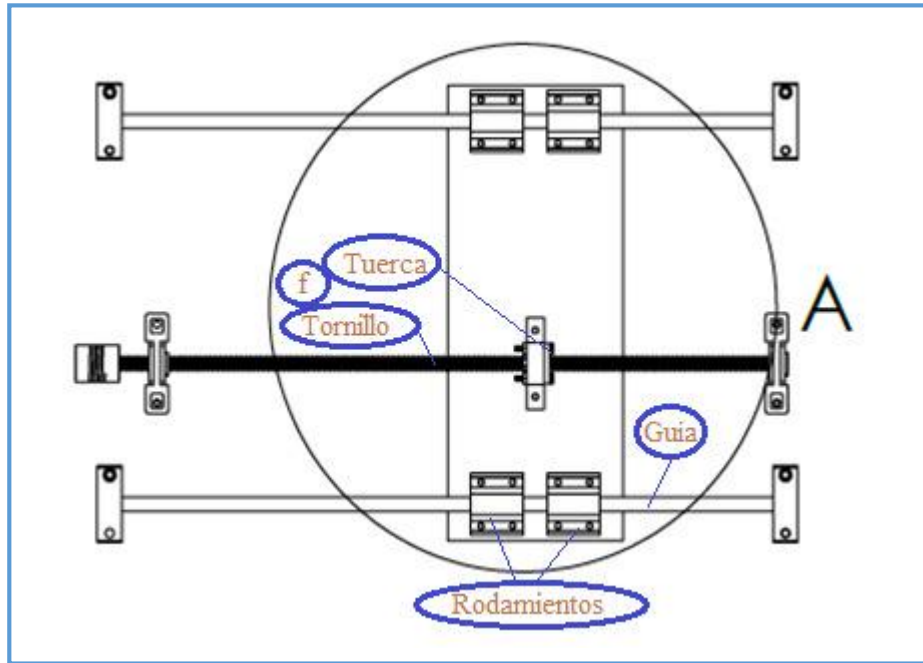


Figura 52. Cálculo de motor para sistema de longitud de vaso.

Fuente: El autor.

Se calcula el torque requerido para girar el tornillo aplicando la ecuación 10.

$$T = W[r_m \left(\frac{\tan\alpha + \frac{f}{\cos\theta_n}}{1 - (f * \tan\alpha)} \right) + f_c * r_c]$$

$$T = 21,68 \text{ N} [0,003375 \text{ m} \left(\frac{\tan(20,656) + \frac{0,35}{\cos 17,35}}{1 - (0,35 * \tan(20,656))} \right) + 0,0012 * 0,004 \text{ m}]$$

$$T = 21,68 \text{ N} [0,003375 \text{ m} \left(\frac{0,377 + 0,367}{1 - 0,132} \right) + 0,0000048 \text{ m}]$$

$$T = 21,68 \text{ N} \left[0,003375 \text{ m} \left(\frac{0,744}{0,909} \right) + 0,0000048 \text{ m} \right] = 21,68 \text{ N} * 0,00277 \text{ m} = 0,06 \text{ Nm}$$

Carga paralela al eje del tornillo.

$$W = m * g \quad (26)$$

$$W = 2,21 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 21,68 \text{ N}$$

El ángulo de hélice α se aplica de la ecuación 8.

$$\tan\alpha = \frac{\text{avance}}{2\pi * r_m}$$

$$\tan\alpha = \frac{8 \text{ mm}}{2\pi * 3,375 \text{ mm}} = 0,377$$

$$\alpha = 20,656$$

Radio medio de la rosca

$$r_m = \frac{\theta_{\text{ext}} + \theta_{\text{int}}}{4} \quad (27)$$

$$r_m = \frac{8 \text{ mm} + 5,5 \text{ mm}}{4} = 3,375 \text{ mm} = 3,37510 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ángulo de la hélice de la rosca en el radio medio.

$$\tan\alpha = 0,377$$

$$\alpha = \tan^{-1}(0,377) = 20,656$$

Coefficiente de rozamiento entre las roscas del tornillo y la tuerca.

$$f = 0,35$$

Ángulo entre la tangente al perfil del diente (sobre el lado cargado) y una línea radial medido en un plano normal a la hélice de la rosca en el radio medio.

$$r_{\text{ext}} - r_m = 4 \text{ mm} - 3,375 \text{ mm} = 0,625 \text{ mm}$$

$$\tan\theta_n = \frac{0,625}{2} = 0,313$$

$$\theta_n = \tan^{-1}(0,313) = 17,35$$

Coeficiente de rozamiento en el collar.

$$f_c = 0,0012$$

Radio efectivo de la superficie de rozamiento contra la cual se apoya la carga llamado radio del collar.

$$r_c = 4 \text{ mm}$$

El torque obtenido es de 0,06 Nm, por lo tanto, se utiliza un motor paso a paso, cuyos datos característicos satisface el presente cálculo.

5.3.6.7. Torque para motor del sistema de contrapunto.

Para el cálculo del motor se utiliza el momento de giro y carga axial.

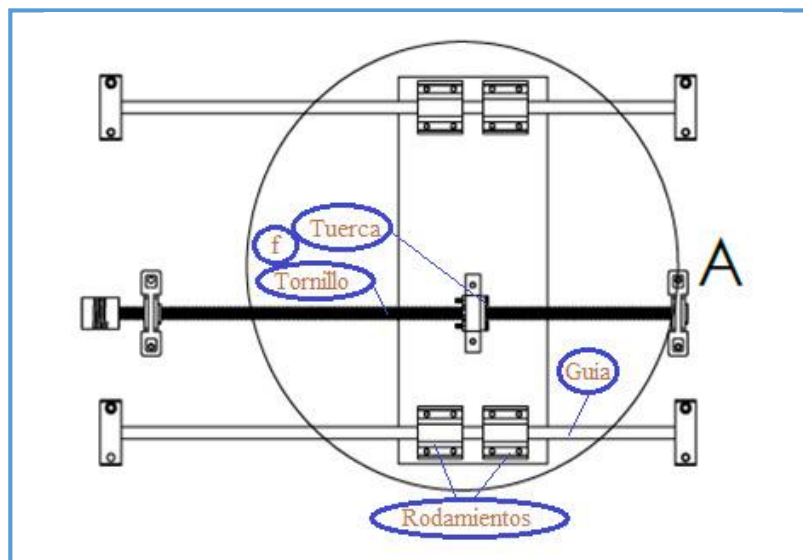


Figura 53. Cálculo de motor para sistema de contrapunto.

Fuente: El autor.

Se calcula el torque requerido para girar el tornillo aplicando la ecuación 10.

$$T = W \left[r_m \left(\frac{\tan \alpha + \frac{f}{\cos \theta_n}}{1 - (f * \tan \alpha)} \right) + f_c * r_c \right]$$

$$T = 23,054 \text{ N} \left[0,003375 \text{ m} \left(\frac{\tan(20,656) + \frac{0,35}{\cos 17,35}}{1 - (0,35 * \tan(20,656))} \right) + 0,0012 * 0,004 \text{ m} \right]$$

$$T = 23,054 \text{ N} \left[0,003375 \text{ m} \left(\frac{0,377 + 0,367}{1 - 0,132} \right) + 0,0000048 \text{ m} \right]$$

$$T = 23,054 \text{ N} \left[0,003375 \text{ m} \left(\frac{0,744}{0,909} \right) + 0,0000048 \text{ m} \right]$$

$$T = 23,054 \text{ N} * 0,00277 \text{ m} = 0,06 \text{ Nm}$$

Carga paralela al eje del tornillo

$$W = m * g$$

$$W = 2,35 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 23,054 \text{ N}$$

El ángulo de hélice α se aplica de la ecuación 8.

$$\tan \alpha = \frac{\text{avance}}{2\pi * r_m}$$

$$\tan \alpha = \frac{8 \text{ mm}}{2\pi * 3,375 \text{ mm}} = 0,377$$

$$\alpha = 20,656$$

Radio medio de la rosca.

$$r_m = \frac{\theta_{\text{ext}} + \theta_{\text{int}}}{4}$$

$$r_m = \frac{8 \text{ mm} + 5,5 \text{ mm}}{4} = 3,375 \text{ mm} = 3,375 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ángulo de la hélice de la rosca en el radio medio.

$$\tan \alpha = 0,377$$

$$\alpha = \tan^{-1}(0,377) = 20,656$$

Coefficiente de rozamiento entre las roscas del tornillo y la tuerca.

$$f = 0,35$$

Ángulo entre la tangente al perfil del diente (sobre el lado cargado) y una línea radial, medido en un plano normal a la hélice de la rosca en el radio medio.

$$r_{\text{ext}} - r_m = 4 \text{ mm} - 3,375 \text{ mm} = 0,625 \text{ mm}$$

$$\tan \theta_n = \frac{0,625}{2} = 0,313$$

$$\theta_n = \tan^{-1}(0,313) = 17,35$$

Coefficiente de rozamiento en el collar

$$f_c = 0,0012$$

Radio efectivo de la superficie de rozamiento contra la cual se apoya la carga, llamado radio del collar.

$$r_c = 4 \text{ mm}$$

Para el sistema de longitud de botella y sistema de contrapunto se utiliza motores paso a paso 28BYJ-48 (Anexo 16).

5.4. SISTEMA DE CONTROL

Este sistema permite controlar los procesos de cada etapa del corte de la botella, los cuales se transfieren desde un tablero de control (Anexo 17), hacia la placa electrónica Arduino (Anexo 18) y es controlado por un solo operario (Anexo 20).

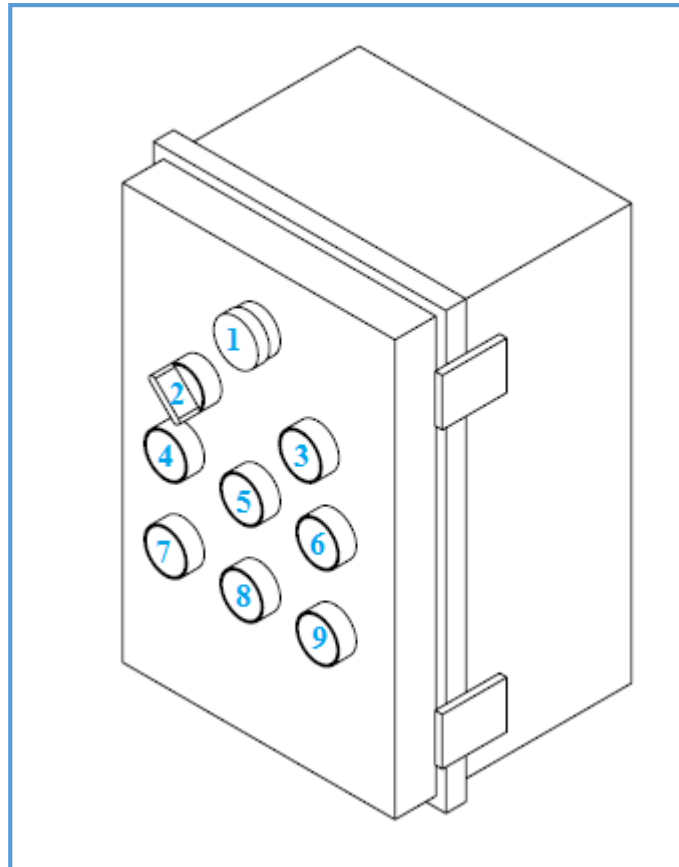


Figura 54. Tablero de control.

Fuente: El autor.

Los elementos que conforman el tablero de control (Figura 54) son:

1. Luz piloto.
2. Selector de dos posiciones.
3. Pulsador de encendido del sujetador de botellas.

4. Pulsador de retroceso del centrado de botella.
5. Pulsador de avance del centrado de botella.
6. Pulsador de paro del centrado de botella.
7. Pulsador de retroceso de longitud de botella.
8. Pulsador de avance de longitud de botella.
9. Pulsador de paro de longitud de botella.

La máquina cortadora de botellas consta de dos etapas:

- El operario coloca una botella en el sujetador de botellas y se ajusta con el contrapunto.
- Viene la primera etapa en donde se efectuará el demarcado de la botella, la cual se realiza dependiendo de la longitud de vaso que se requiera.
- En la segunda etapa se realiza la aplicación de calor mediante niquelina para lograr cortar la botella.
- Finalmente se retira la botella cortada y se repite el proceso colocando una nueva botella.

Para llevar a cabo el corte de las botellas, la maquina tiene los siguientes accionamientos:

- Motorreductor para sujetador de botella (acoplamiento de motor más caja reductora).
- Motor paso a paso para controlar longitud de botella.
- Motor paso a paso para controlar contrapunto.
- Niquelina para cortar botella.

Para controlar la máquina se instaló en el tablero los siguientes accesorios de señalización y control.

- 1 luz piloto verde, que indicará que la máquina está energizada.
- 1 Selector de 2 posiciones que permite controlar el encendido y apagado de la niquelina.
- 1 pulsador verde, que permite el accionamiento del sujetador de la botella.
- 3 pulsadores, dos verdes y un rojo; los pulsadores verdes permiten el avance y retroceso de la longitud del vaso, el pulsador rojo es para el paro del mismo.
- 3 pulsadores, dos verdes y un rojo; los pulsadores verdes permiten el avance y retroceso del contrapunto, el pulsador rojo es para el paro del mismo.

6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

A continuación, se presentan los resultados de los pasos para el cálculo y diseño de cada uno de los sistemas de la máquina.

Ya que la microempresa E-glass utiliza un método de corte mediante demarcación por indentador y calentamiento por niquelina, se estableció los siguientes sistemas:

6.1. Resultados del dimensionamiento mecánico.

Se diseñó un conjunto de sistemas que satisfacen cada uno de los requerimientos de la empresa, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 5.

Resultados del dimensionamiento mecánico.

Requerimiento	Sistema
1	Sistema de posicionamiento de la botella.
2	Sistema de sujeción de la botella.
3	Sistema de contrapunto.
4	Sistema de demarcado de la botella.
5	Sistema de aplicación de calor mediante niquelina.
6	Sistema de longitud de botella.
7	Sistema de centrado de botella.
8	Sistema de transmisión de potencia.
9	Sistema de propuesta de control.

Fuente: Autoría propia

6.1.1. Resultados del sistema de posicionamiento de la botella de vidrio.

Para lograr sostener la botella de la base se utilizó un sistema de sujeción, el cual es el encargado de transmitir potencia, y un contrapunto en la parte de la boca de la botella, para centrar y mantenerla siempre alineada.

6.1.2. Resultados del sistema de sujeción de la botella.

El sistema de sujeción permitió mediante un cierre concéntrico sujetar botellas con las siguientes características:

Tabla 6.

Resultados del sistema de sujeción de la botella.

Datos	Ø (mm)
Botella de diámetro menor	53
Botella de diámetro mayor	91,6

Fuente: Autoría propia.

6.1.3. Resultados del sistema de contrapunto.

El sistema de contrapunto permitió sostener la botella del lado opuesto del sistema de sujeción, este se desplaza permitiendo cortar botellas de la siguiente longitud:

Tabla 7.

Resultados del sistema de contrapunto.

Datos	Longitud (cm)
Botella de longitud menor	20
Botella de longitud mayor	34

Fuente: Autoría propia.

6.1.4. Resultados del sistema de demarcación de la botella.

Para el sistema de demarcación se seleccionó un cortador Toyo TC – 17, el cual demarca la periferia de la botella con la fuerza mínima calculada de 20,24 N y fuerza máxima con un valor de 22,40 N.

6.1.5. Resultados del sistema de aplicación de calor mediante niquelina.

Para la aplicación de calor se moldearon dos niquelinas con curvaturas de 31 cm y 45,5 cm, las cuales se utilizan dependiendo el diámetro de la botella que se corte, calentándola durante 40 segundos. Estas se alimentaron por medio de un transformador a 110 V / 17,63 V.

6.1.6. Resultados de los sistemas de posición de longitud de vaso y centrado de botella.

Estos permitieron desplazar las bases acopladas de cada uno de estos sistemas mediante un servomotor modelo 28 BYJ-48 con un torque de 0,06 Nm, cuya alimentación es a 5 voltios.

6.1.7. Resultados del sistema de transmisión de potencia.

Se realizaron los cálculos de la potencia del motor requerida, así como el torque y la revoluciones por minuto adecuadas. Los datos característicos se muestran en la tabla 8.

Tabla 8.

Resultados del sistema de transmisión de potencia.

Características del sistema de transmisión de potencia	
Potencia de motor	37,3 W
RPM del motor	1550 rev/min

Voltaje	110 V
Torque del motor	0,23 Nm
Relación de transmisión de caja reductora	118,32
Torque obtenido motor más caja reductora	27,21 Nm
Torque total requerido	8,26 Nm
RPM en la salida de la caja reductora	13,10 rev / min

Fuente: Autoría propia.

6.1.8. Resultados del sistema de control.

Se realizó la selección de componentes para el tablero de control los cuales se establecen en la tabla 9.

Tabla 9.

Resultados del sistema de control.

Elemento	Características
Tablero de control	Placa electrónica ARDUINO
	Disyuntor magnético C4
	Luz piloto de encendido
	Selector de dos posiciones
	Pulsador de encendido
	Pulsadores de avance
	Pulsadores de retroceso
	Pulsadores de paro

Fuente: Autoría propia.

6.2. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA CORTADORA DE BOTELLAS.

Una vez construida la máquina (Figura 55), se elaboró su respectivo procedimiento de operación.

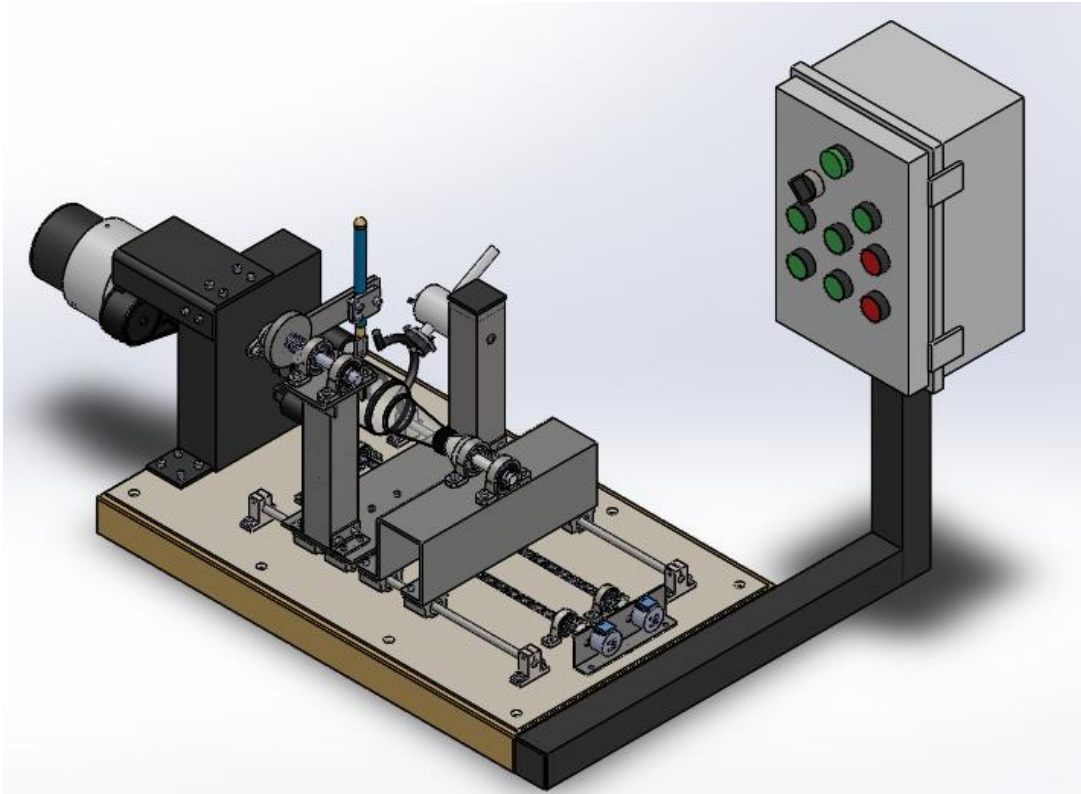


Figura 55. Máquina cortadora de botellas.

Fuente: El autor.

El encendido de la máquina se realiza con el accionamiento del disyuntor magnético (Anexo 19) ubicado en el interior de la caja de control. Este energiza todo el tablero y sus componentes, y una luz piloto (Anexo 22) indicará el energizado de la máquina.

Una vez energizada la máquina el operador coloca la botella en el sujetador y con el pulsador de avance de contrapunto se procede a sujetarla. Luego, con el pulsador de ajuste se gira el sujetador hasta adaptarlo al diámetro de la botella.

Cuando la botella está rotando, se ajusta el sistema de longitud de vaso por medio de los pulsadores de avance y retroceso, dependiendo de la longitud que se desee cortar la botella. Luego manualmente se coloca el indentador sobre la botella, logrando así demarcar la ruta de corte en toda la periferia de la botella.

Una vez demarcada la ruta de corte se procede a retirar el indentador y se coloca el siguiente sistema que es aplicar calor mediante la niquelina accionando el selector de dos posiciones.

Ya que la botella se ha calentado durante 40 segundos, el operario desactiva la niquelina, se apaga el motor del sujetador y procede a accionar el retroceso del contrapunto.

El operario saca la botella del sujetador y mediante choque térmico se obtiene la botella cortada, dando como resultado un vaso cortado.

A continuación, se repite el proceso.

En anexos se encuentran los diagramas de fuerza y control para el motor del sujetador de botellas, así, como del motor paso a paso según Anexo 23.

En el Anexo 28 se encuentran vasos cortados de diferentes botellas de vidrio para su demostración.

Tabla 10.

Presupuesto.

PRESUPUESTO					
Descripción	Longitud(mm)	Unidades	Precio(\$)	Total	
EJE ACERADO Ø8MM	400	2	6,99	13,98	
SOPORTE VERTICAL 8MM		4	4,99	19,96	
TORNILLO SIN FIN Ø8MM + TUERCA + CAMISA	400	2	21,99	43,98	
ACOPLE FLEXIBLE DE 5 A 8MM		2	3,99	7,98	
ACOPLE FLEXIBLE DE 8 A 8MM		1	3,99	3,99	
CHUMACERA DE PISO (8MM)		4	2,99	11,96	
CHUMACERA DE PISO (12MM)		4	6,99	27,96	
CHUMACERA DE PARED (12MM)		2	6,99	13,98	
RODAMIENTO SC8UU (8MM)		8	4,75	38	
EJE PARA SUJETADOR DE BOTELLAS		1	9	9	
TOFTOL EXTRACTOR FILTRO/ACE 1415 3PT		1	12,5	12,5	
IMPRESIÓN 3D PARA PATAS DE FILTRO DE ACEITE		3	3	9	
MANGUERA PARA PATAS DE FILTRO DE ACEITE		3	0,4	1,2	
ACOPLE PARA EJE DE TRANSMISIÓN		1	3	3	
TORNEADO DE ACOPLER		4	15	60	
DURALÓN		1	15	15	
MOTOR 1/20HP		1	5	5	
CAJA REDUCTORA		1	20	20	
MOTOR 28BYJ-48		2	7	14	
MATERIAL GRILÓN		1	10	10	
RUL_6802-2RS		2	3,5	7	
CORTADOR TOYO		1	17	17	
TENSOR DE BICICLETA		1	5	5	
ÁNGULO PLANO DEXSON 20 12		1	0,4	0,4	
CANALETA 20 12 CON ADHESIVO		1	2,28	2,28	
PLANCHA DE MADERA 600 X 380 X 5 MM		1	6	6	
PLANCHA NEGRA 650 X 50 X 4MM		1	6,5	6,5	
PLANCHA NEGRA DE 250 X 260 X 4MM		1	3,5	3,5	
PLANCHA NEGRA DE 80X 35 X 4MM		1	2,4	2,4	
PLANCHA NEGRA 590 X 360 X 4MM		1	10	10	
PERNO ALLEN C/EXGNL. MM 4*16		50	0,1	5	
PERNO ALLEN C/EXGNL. MM 5*16		44	0,1	4,4	
PERNO ALLEN C/EXGNL. MM 6*20		10	0,15	1,5	
TUBO CUADRADO 40 X 40 X 2		1	6	6	
TAPA DE CAUCHO PARA TUBO CUADRADO		2	0,25	0,5	
TABLERO DE CONTROL		1	12	12	
SELECTOR DE 2 POSICIONES		1	2,5	2,5	

PULSADORES DE PLÁSTICO CAMSCO	7	1,65	11,55
PRENSA ESTOPA PG-11	1	0,32	0,32
BREK- DE 1P 4A RIEL DIN EBASEE	1	2,32	2,32
BORNERA CAMSCO H15-12	2	2,5	5
BORNERA TB15-06 CAMSCO	1	1,5	1,5
TOMACORRIENTE DOBLE B/M MAVIJU	1	1,5	1,5
ENCHUFE 110V 15A COOPER 2P	1	1,7	1,7
CABLE CONCÉNTRICO 2 14	7	0,75	5,25
ARDUINO UNO	1	12	12
TRANSFORMADOR	1	20	20
NIQUELINAS	2	5	10
CARGADOR 6V	1	5	5
PROTOBOARD	1	4	4
MÓDULO RELÉ	1	2,5	2,5
CABLES	30	0,1	3
OTROS	1	20	20
Total de presupuesto			538,11

Fuente: Autoría propia.

7. DISCUSIÓN.

El diseño de una máquina cortadora de envases de vidrio para la producción de vasos a partir de botellas recicladas, surgió de la necesidad de la microempresa E-glass, por lo cual, el presente objetivo es mejorar el proceso de producción manual y en parte semiautomatizar ciertas partes del proceso, cumpliendo así con los requerimientos deseados.

Tabla 11.

Tabla comparativa de máquinas cortadoras de botellas de vidrio.

Tabla comparativa			
Características	Máquina diseñada	Máquina cortadora de botellas de vidrio para fabricación de lámparas	Máquina cortadora de botellas de vidrio para cristalería ecológica
RPM que gira la botella	13,10	Mínimo 4 Máximo 10	6
Torque del motor (N)	27,21	Dato no calculado	Dato no calculado
Fuerza para demarcar la botella.(N)	Fuerza mínima 20,24 Fuerza máxima 22,4	Dato no calculado	Dato no calculado
Temperatura de la niquelina. (°C)	300	330	Dato no calculado
Diámetros de botellas que se pueden cortar (mm)	Diámetro mínimo 53 Diámetro máximo 91,6	Diámetro mínimo 50 Diámetro máximo 200	Dato no calculado
Producción diaria de botellas cortadas (8 horas)	240	30	240

Fuente: Autoría propia.

Luego de analizar los diversos métodos de corte de botellas de vidrio y las máquinas existentes, se optó por elegir un corte por medio de demarcación y calentamiento, siendo la mejor opción comparado con otros métodos de corte como: láser, método de la llama, método de agua hirviendo, método del hilo, método eléctrico, ya que estos no cumplen con la calidad de corte que se requiere. Así mismo, la máquina diseñada tiene ciertas ventajas y desventajas en comparación a otras máquinas cortadoras de este tipo como son la máquina cortadora de botellas de vidrio para fabricación de lámparas (Figura 6), y la máquina cortadora de botellas de vidrio para cristalería ecológica (Figura 7). En la Tabla 11 se hace una comparación de los resultados obtenidos de cada una de ellas y también los cálculos que no se realizaron.

Por medio de la máquina diseñada se asegura mayor calidad de corte en la botella, ya que se utilizan mecanismos de precisión que facilitan estos procesos, logrando así, una producción de 240 vasos diarios, lo cual no es una cifra significativa comparado con el método manual que producen 200 vasos, pero en cuanto se refiere a la calidad de corte, este es mejor.

La máquina propuesta es viable económicamente, sus mecanismos no son complejos, está construida con elementos de la localidad, cumple con un correcto funcionamiento, además, es portátil, lo que facilita su movilización. La máquina se podría mejorar en algunos aspectos, por ejemplo, implementar otro sistema de aplicación de calor para obtener un corte más rápido de la botella. Además, se limitó al proceso solo de corte, dando como resultado un producto no terminado, pero la máquina cuenta con la estructura adecuada para estos complementos como un sistema de pulido y cauterización de la superficie del vaso, ya que estos son necesarios para terminar el proceso de producción, es decir obtener el vaso listo para su uso. Finalmente, se menciona que en un futuro se pueda automatizar más partes del proceso, como, por ejemplo, la demarcación de la botella, aplicación de calor, etc.

8. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una máquina cortadora de envases de vidrio para la producción de vasos a partir de botellas recicladas.
- Según los requerimientos de la micro empresa E-glass, se determinó que el método más adecuado para cortar las botellas es por medio de un indentador y aplicación de calor mediante niquelina a una temperatura aproximada de 300 °C durante el tiempo de 40 segundos, al demarcar la botella es importante establecer un rango con una fuerza mínima de 20,24 N y máxima de 22,4 N, además, esta máquina funciona a 13,10 revoluciones por minuto y torque de 27,21 N.
- En la fase de diseño se determinó los componentes electromecánicos necesarios, agrupados en 9 sistemas: sistema de posicionamiento de la botella, sistema de sujeción, sistema de contrapunto, sistema de demarcado de la botella, sistema de aplicación de calor mediante niquelina, sistema de longitud de vaso, sistema de centrado, sistema de transmisión de potencia y sistema de propuesta de control.
- Se logró implementar de manera adecuada todos los componentes, logrando así, en la fase de evaluación, cortar una muestra de 30 botellas de diferentes diámetros en 1 hora, obteniendo vasos con un corte perfecto en el 99% de las mismas, con un consumo de energía por unidad de vaso de 0,0054 kWh.

9. RECOMENDACIONES.

- Utilizar motores de mayor potencia para el sistema de longitud de vaso y sistema de contrapunto, con el fin de lograr mayor velocidad tanto en el avance como retroceso de estos sistemas, para lograr una mayor producción en menor tiempo.
- Investigar sobre otros métodos de aplicación de calor que se puedan implementar en la máquina para cortar en menor tiempo la botella.
- Implementar un sistema de pulido como un proceso complementario para además de obtener un vaso cortado, poder pulir la superficie cortada.
- Considerar la opción de implementar un sistema de cauterización de filo del vaso para obtener una calidad aún mayor.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Blogger. (2014). *Alambre de Nicromo*. Obtenido de <http://alambre-nicrom.blogspot.com/p/nicrom.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Construir TV. (2015). *4 formas de cortar una botella de vidrio*. Obtenido de Construir TV: <https://www.construirtv.com/4-formas-de-cortar-una-botella-de-vidrio/>
- Crespo, J. (25 de 09 de 2016). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Qué es Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/que-es-arduino-2/>
- Crespo, J. (21 de 12 de 2016). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Motor paso a paso con Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/motores/>
- Cueva, C. A. (2015). *Diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas a partir de cascarilla de arroz*. Loja.
- D'Alessandro, M. (2016). *Rocas y minerales*. Obtenido de <https://www.rocasym minerales.net/diamante/>
- Gonzalez, R. (03 de 01 de 2019). *ECOLOGIAHOY*. Obtenido de Vidrio: ¿Qué es? Tipos, Propiedades, Características y Usos: <https://www.ecologiahoy.com/vidrio>
- Gutiérrez, M. (2015). *Cristalería ecológica a base de botellas de vidrio recicladas*. Quito.
- Hall, A., Holowenco, A., & Laughlin, H. (1970). *Diseño de máquinas*. Estados Unidos: MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC. USA.

- Leyva, G. (2014). *Aplicaciones de control digital con Arduino; Sistemas robóticos con Arduino; Visión computacional con Arduino; Sistemas mecatrónicos espaciales con Arduino* .
Perú.
- Macas, K. (2018). *Proyecto de factibilidad para la implementación de una empresa productora y comercializadora de vasos de vidrio a base de material reciclado en la ciudad de Loja*.
Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Miranda, J. C. (26 de 05 de 2015). *Apuntes de ingeniería mecánica*. Obtenido de Fricción por rodadura: <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2015/05/titulo-friccion-subtitulo-friccion-por.html>
- Reyes, A. (2017). *Diseño de un sistema semiautomático para lavado de botellas de vidrio tipo III, de 750ml de capacidad*. Loja.
- Sanleón, R. ((s.f.)). *Dpto. Tecnologías del Envase de ainia*. Obtenido de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wp/D24C96B9564E2A4EC1256F250063FAA3?Opendocument>
- Vergara, H. (2018). *Propuesta de diseño y fabricación de máquina cortadora de botellas de vidrio para fabricación de lámparas*.

11. ANEXOS.

Anexo 1. Diferentes tipos de vidrio.



Figura 56. Vidrio catedral.



Figura 57. Vidrio arenado.



Figura 58. Vidrio crudo.

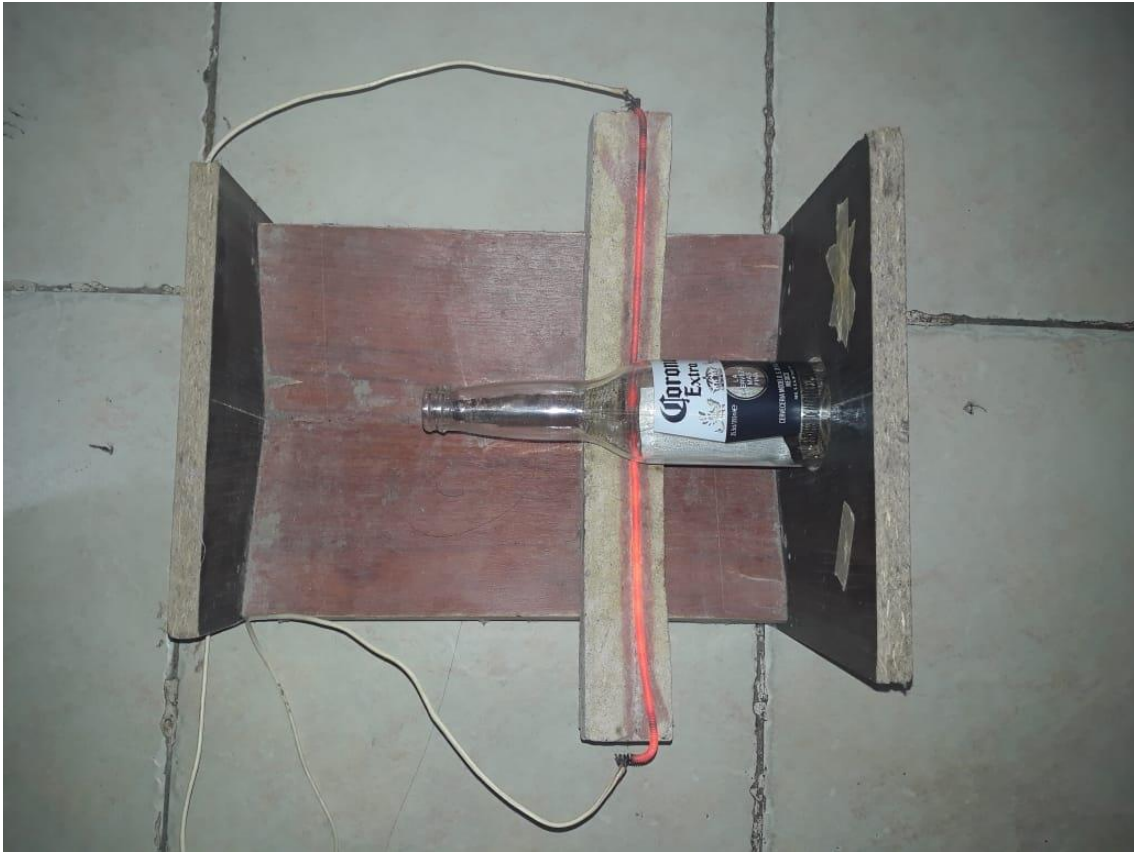
Anexo 2. Corte de botellas de vidrio de forma manual.



Anexo 3. Indentador de cortador manual de botellas de vidrio.



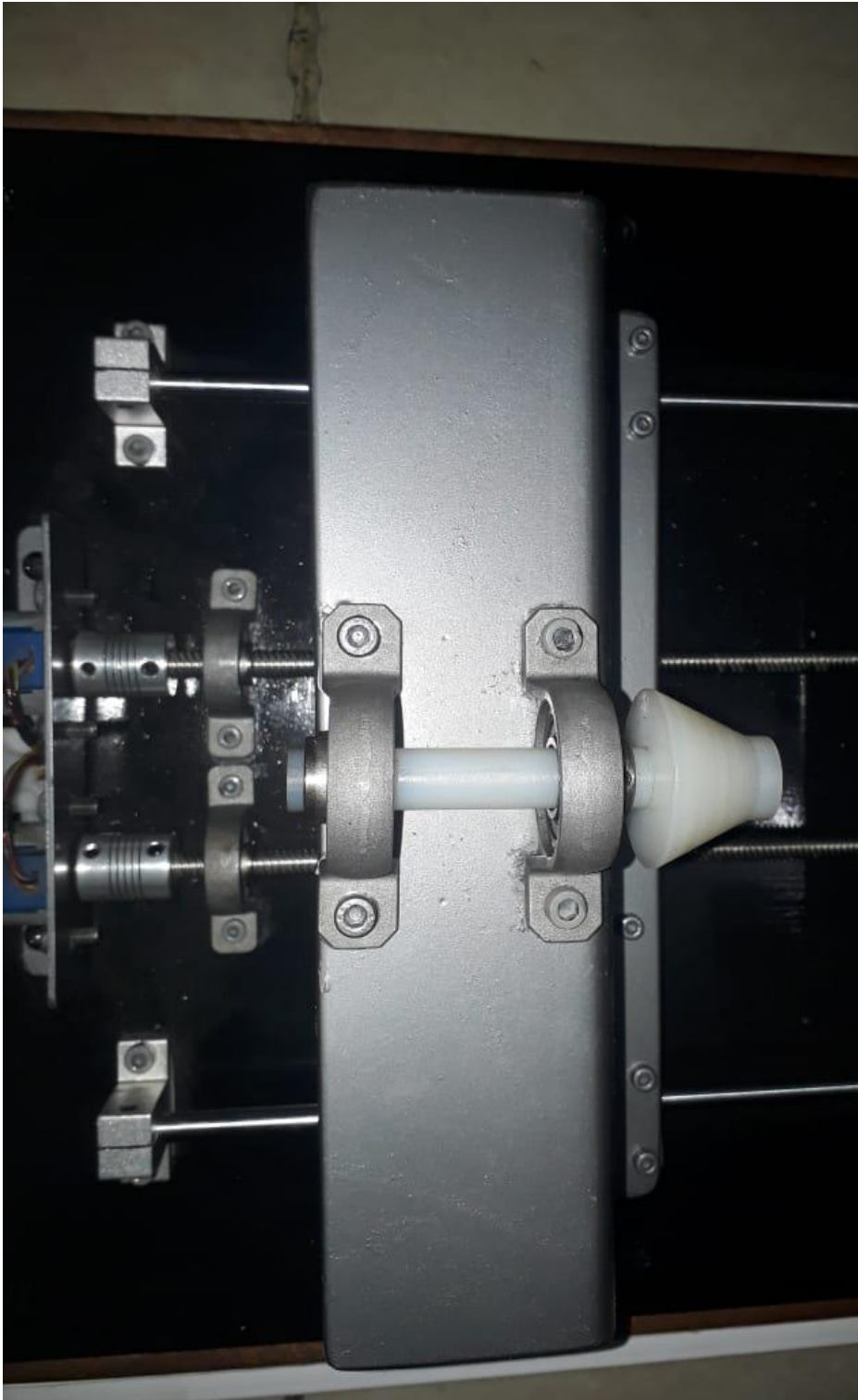
Anexo 4. Aplicación de calor mediante niquelina de resorte.



Anexo 5. Sujetador de botella.



Anexo 6. Sistema de contrapunto.



Anexo 7. Cortador Toyo TC-17.



Anexo 8. Construcción de pieza para experimentación de fuerza de corte.



Anexo 9. Demarcado débil sobre el vidrio.



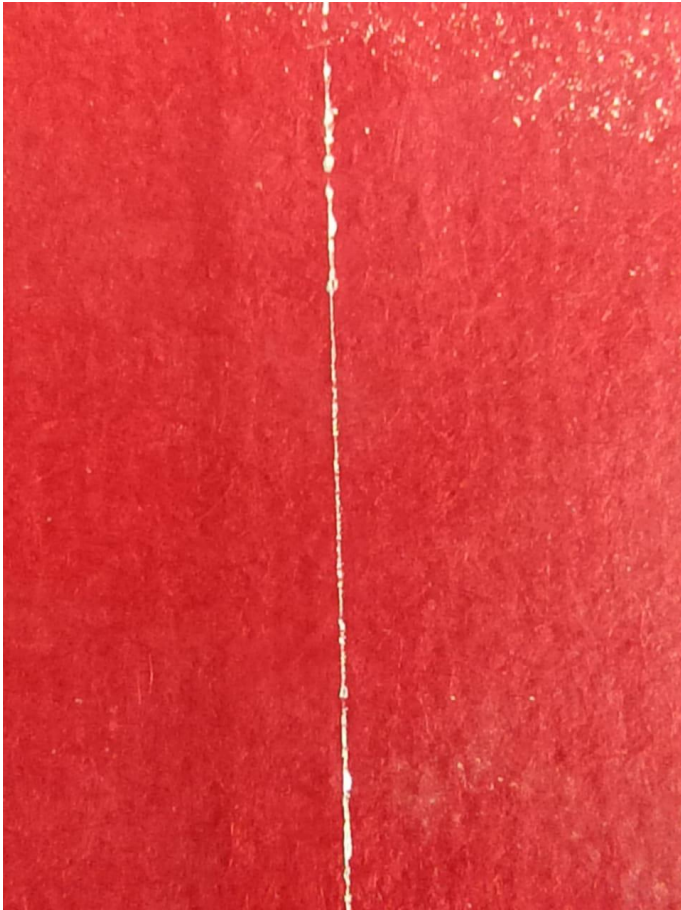
Figura 59. Ruptura de vidrio fuera de la ruta por demarcado débil.

Anexo 10. Demarcado adecuado para cortar vidrio.

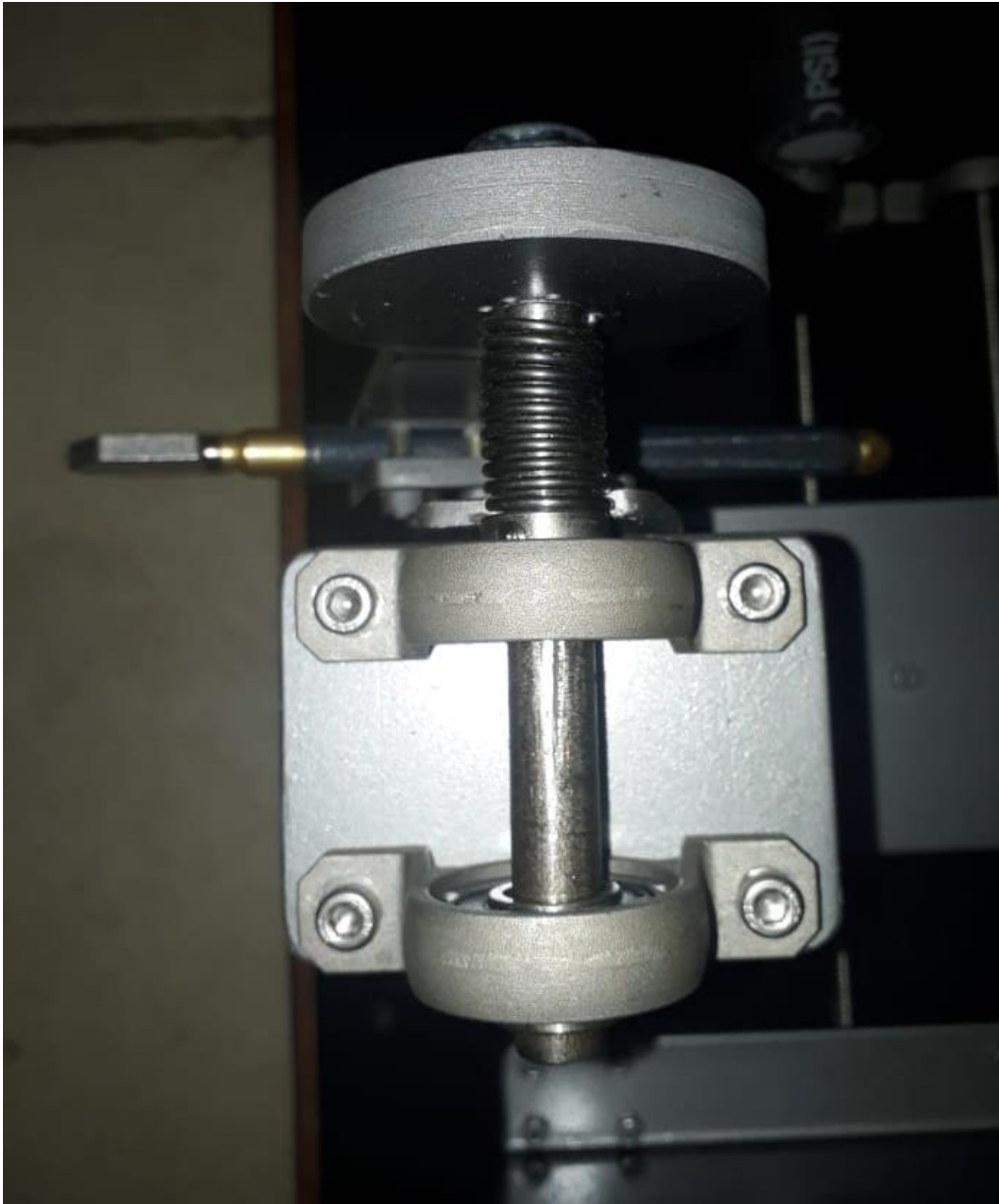


Figura 60. Vidrio cortado adecuadamente.

Anexo II. Demasiada fuerza aplicada en el demarcado produce astillas.



Anexo 12. Sistema de demarcado de botella.



Anexo 13. Sistema de barra deslizante.



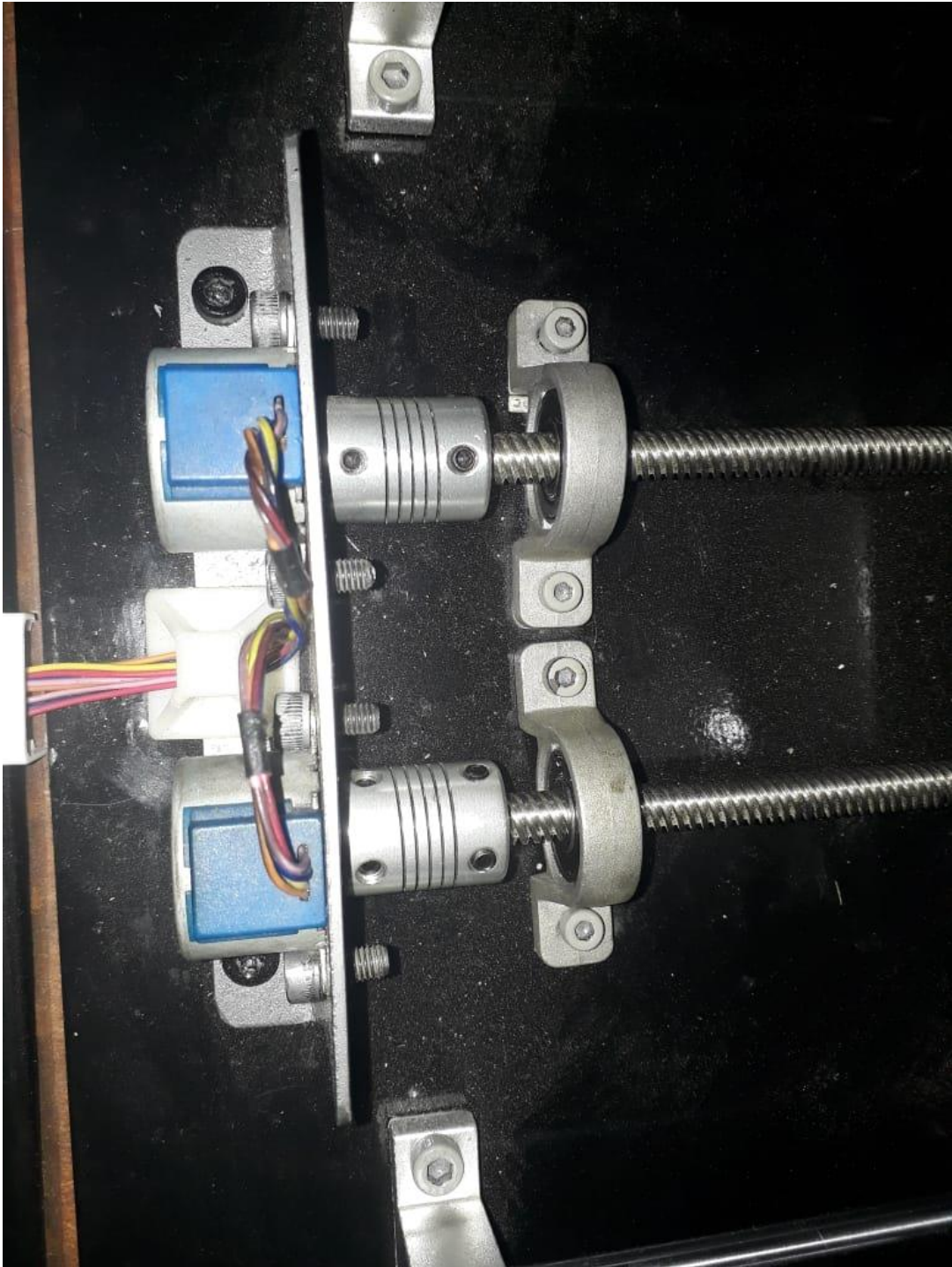
Anexo 14. Acople motor- caja reductora.



Anexo 15. Caja reductora.



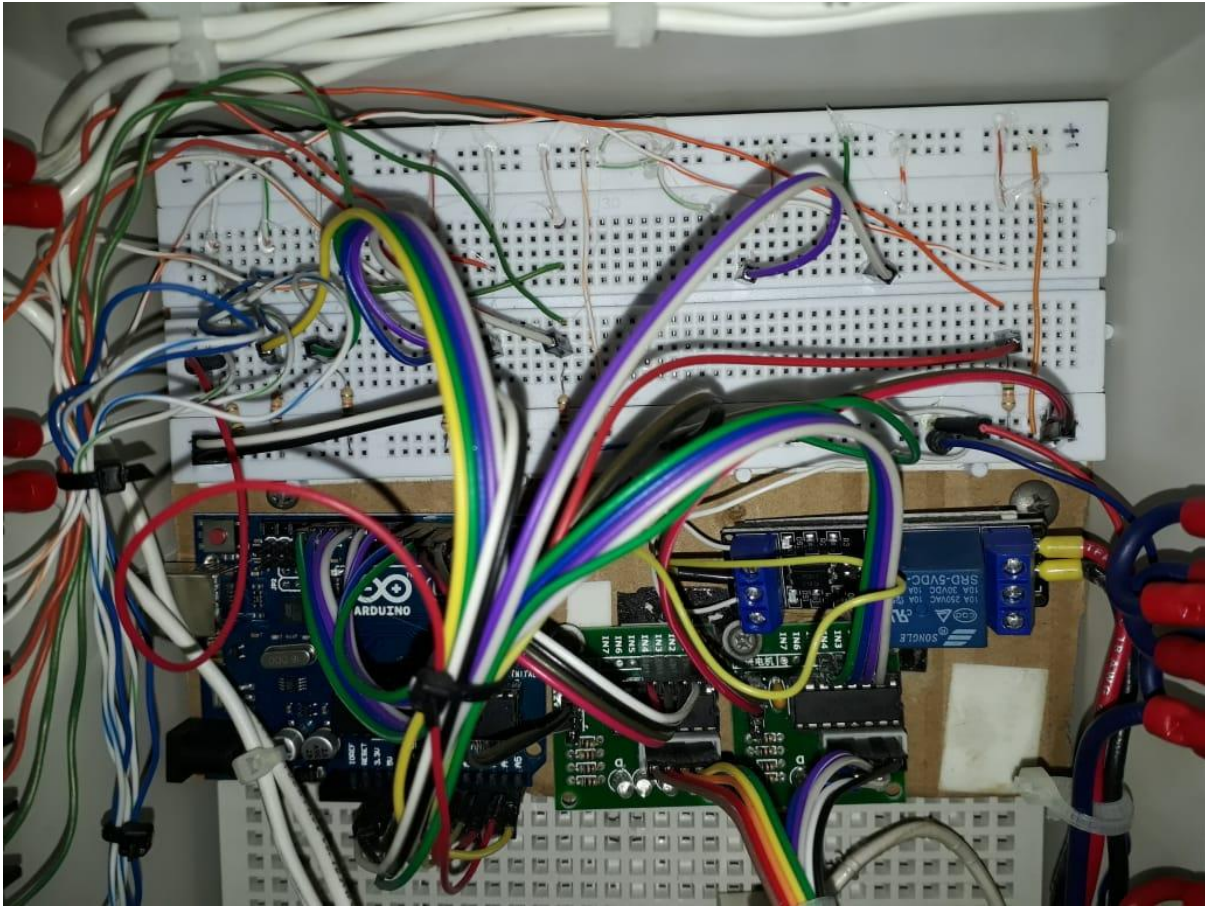
Anexo 16. Motores paso a paso.



Anexo 17. Sistema de control.



Anexo 18. Programación Arduino.



Anexo 19. Disyuntor magnético.



Anexo 20. Tablero de control.



Anexo 21. Máquina cortadora de botellas.



Anexo 22. Encendido de la máquina-



Anexo 23. Diagrama de fuerza y control del motor del sujetador de botellas. Motor apagado.

Diagrama fuerza.

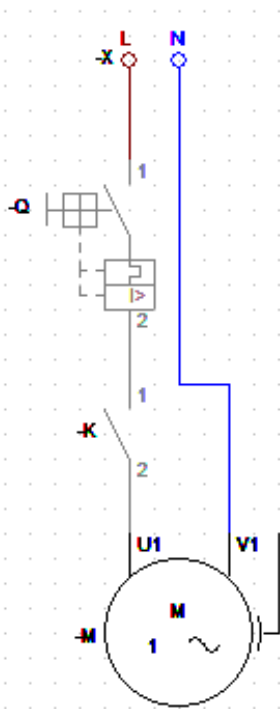
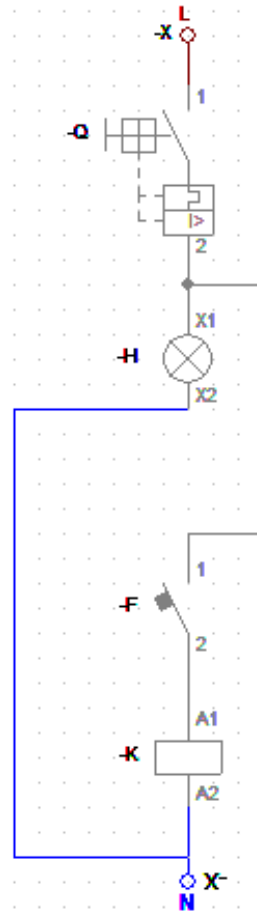
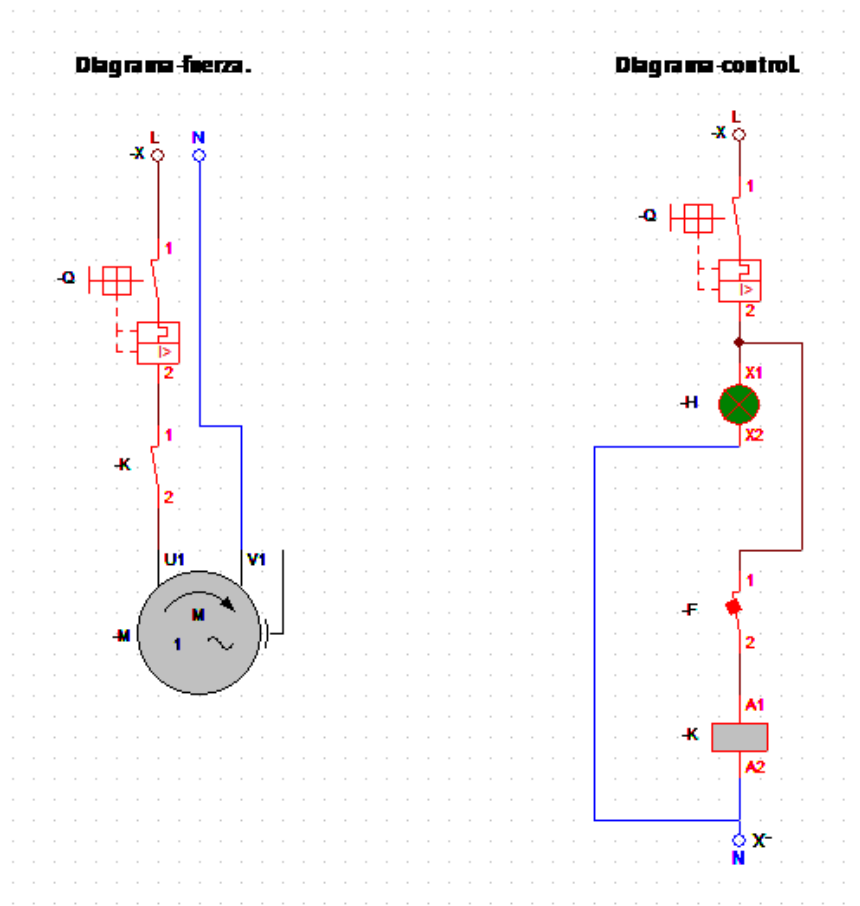


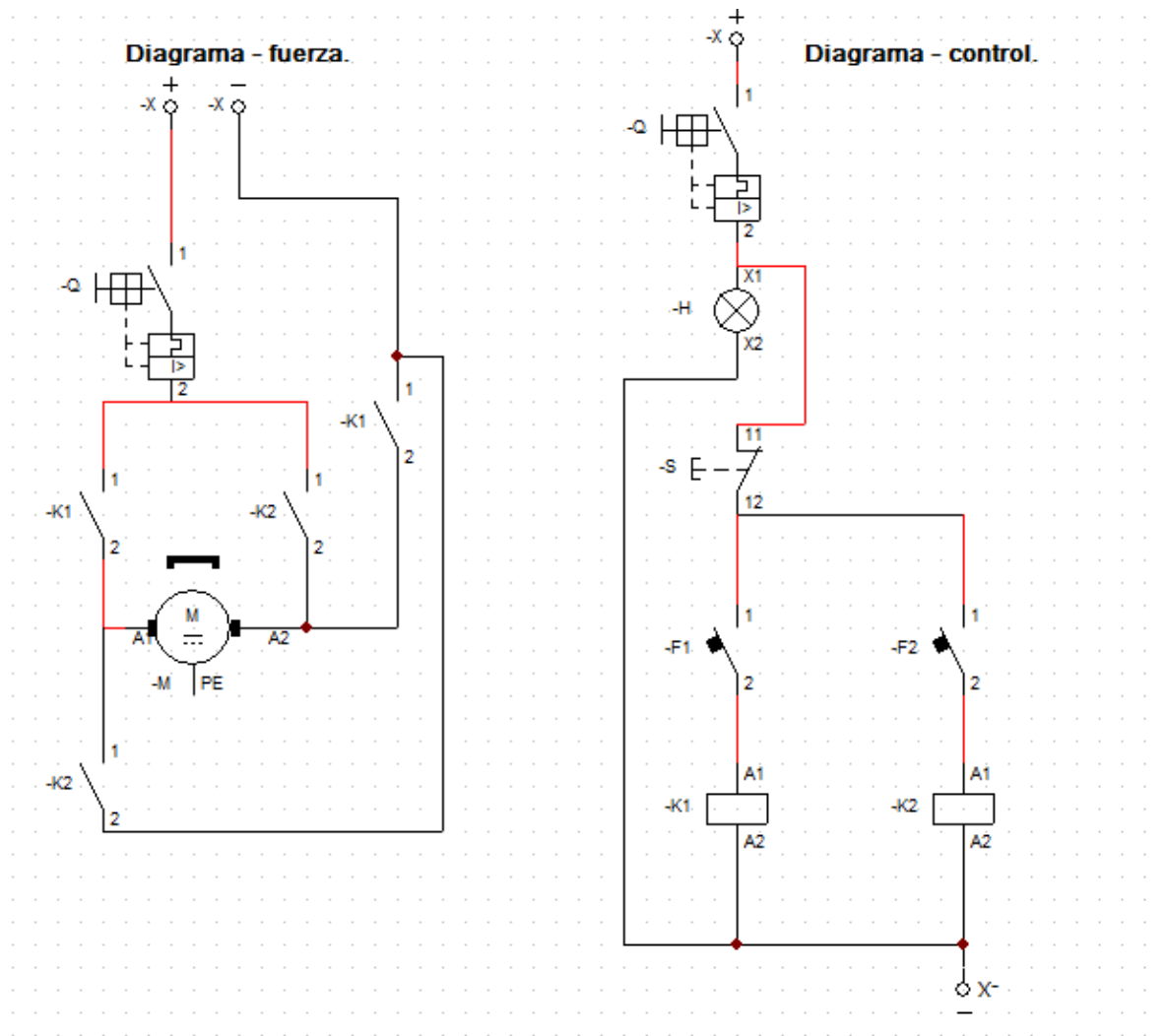
Diagrama control.



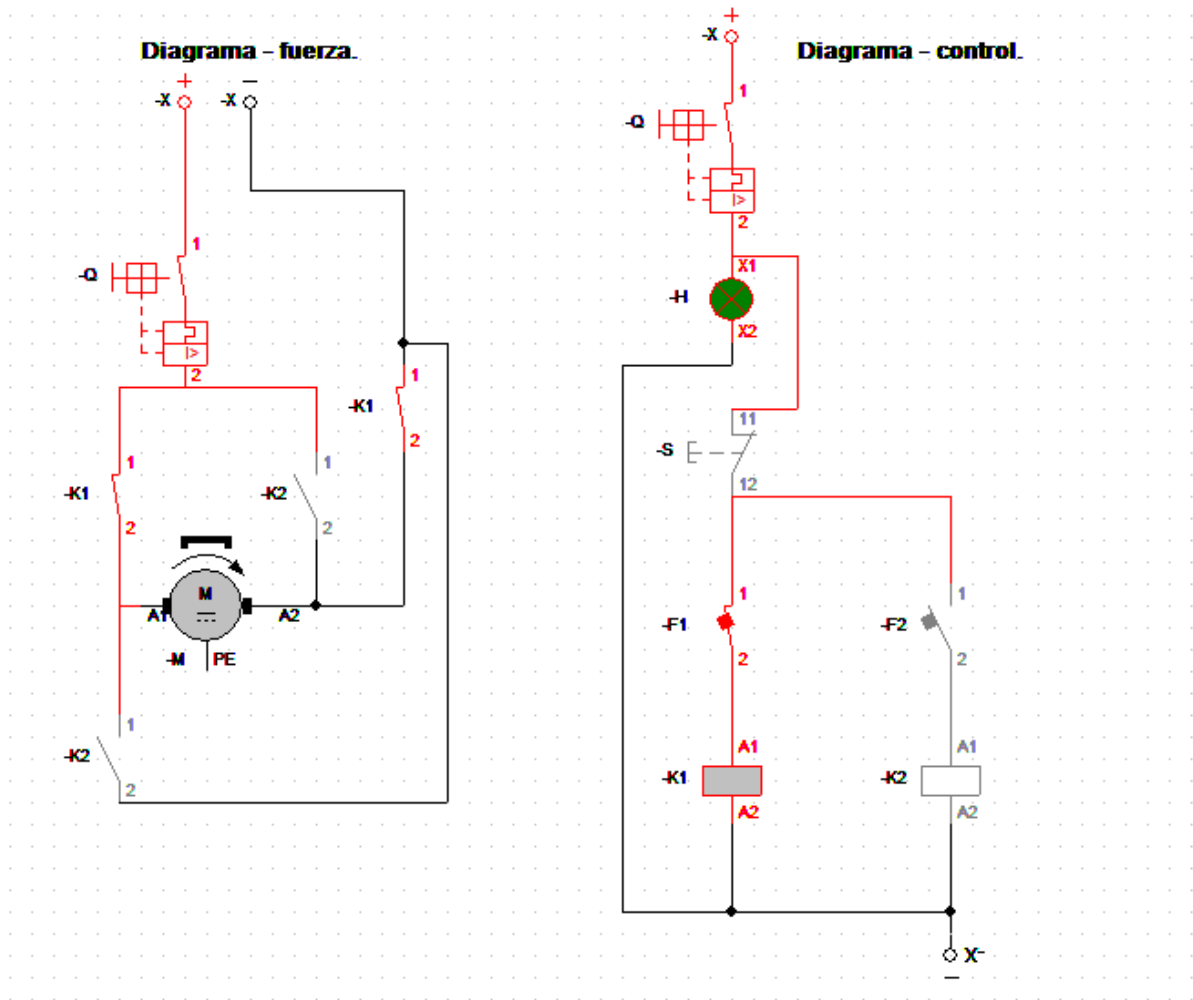
Anexo 24. Diagrama de fuerza y control del motor del sujetador de botellas. Motor encendido.



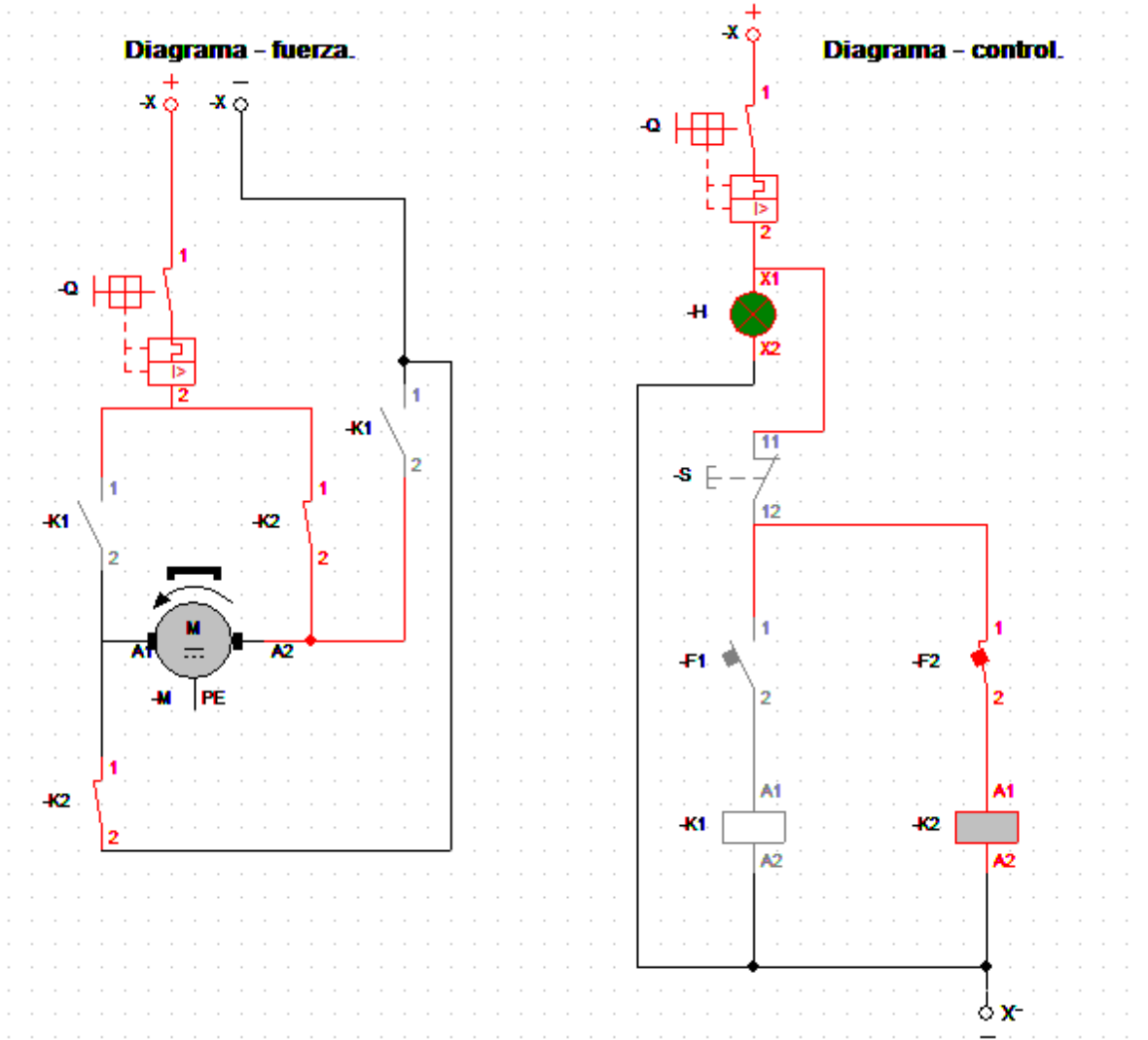
Anexo 25. Diagrama de fuerza y control del motor paso a paso del centrado de botella y longitud de vaso. Motor apagado.



Anexo 26. Diagrama de fuerza y control del motor paso a paso del centrado de botella y longitud de vaso. Avance del motor.



Anexo 27. Diagrama de fuerza y control del motor paso a paso del centrado de botella y longitud de vaso. Retroceso del motor.



Anexo 28. Vasos cortados de diferentes botellas.



Anexo 29. Corte adecuado del vaso de vidrio.



Anexo 30. Coeficientes de fricción.

COEFICIENTES ESTÁTICOS Y CINÉTICOS		
	Seco.	Con grasa.
Acero duro sobre acero duro	0.78	0.11
		0.23
		0.15
		0.11
		0.0075
		0.0052
Acero dulce sobre acero dulce	0.74	
Acero duro sobre grafito	0.21	0.09
Acero duro sobre babbitt (ASTM N°1)	0.7	0.23
		0.15
		0.08
		0.085
Acero duro sobre babbitt (ASTM N°8)	0.42	0.17
		0.11
		0.09
		0.08
Acero duro sobre babbitt (ASTM N°10)		0.25
		0.12
		0.1
		0.11
Acero dulce sobre bronce fosforado		
Acero dulce sobre plomo al cobre		
Acero dulce sobre hierro fundido		0.183
Acero dulce sobre plomo	0.95	0.5
Níquel sobre acero dulce		
Aluminio sobre acero dulce	0.61	
Magnesio sobre acero dulce		
Magnesio sobre magnesio	0.6	0.08
Teflón sobre teflón	0.04	
Teflón sobre acero	0.04	
Carburo tungsteno sobre carburo tungsteno	0.2	0.12
Carburo de tungsteno sobre acero	0.5	0.08
Carburo de tungsteno sobre cobre	0.35	

Anexo 31. Coeficientes de resistencia a la rodadura.

Tabla 1 – Coeficientes de Rodadura							
Rueda	Coeficiente de Rodadura Cr						
	Presión de Inflado	Carga, Lb	Concreto	Césped azul-verde	Tierra de cultivo labrada	Arena Suelta	Nieve Floja de 10 a 14 Pulg. de profundidad
2.5 x 36 acero	-	1000	0.01	0.087	0.384	0.431	0.106
4 x 24 acero	-	500	0.034	0.082	0.468	0.504	0.282
4.00-18 4 capas	20	500	0.034	0.058	0.366	0.392	0.21
4 x 36 acero	-	1000	0.019	0.074	0.367	0.413	-
4.00-30 4 capas	36	1000	0.018	0.057	0.322	0.319	-
4.00-36 4 capas	36	1000	0.017	0.05	0.294	0.277	-
5.00-16 4 capas	32	1000	0.031	0.062	0.388	0.46	-
6 x 28 acero	-	1000	0.023	0.094	0.368	0.477	0.156
6.00-16 4 capas	20	1000	0.027	0.06	0.319	0.338	0.146
6.00-16 4 capas (*)	30	1000	0.031	0.07	0.401	0.387	-
7.50-10 4 capas (+)	20	1000	0.029	0.061	0.379	0.429	-
7.50-16 4 capas	20	1500	0.023	0.055	0.28	0.322	-
7.50-28 4 capas	16	1500	0.026	0.052	0.197	0.205	-
8 x 48 acero	-	1500	0.013	0.065	0.236	0.264	0.118
7.50-36 4 capas	16	1500	0.018	0.046	0.185	0.177	0.0753
9.00-10 4 capas (+)	20	1500	0.031	0.06	0.331	0.388	-
9.00-16 6 capas	16	1500	0.042	0.054	0.249	0.272	0.099

(*) Llantas de tractor con anillo contra patinaje
 (+) Llantas de tractor con rodadura acostillada
 Todas las demás llantas con rodadura del tipo de implemento

Anexo 32. Tabla de factores de servicio para motores.

Factores de Servicio Fs	Accionamiento		
	Motor Eléctrico	M. Alt. Multicilindrico	M. Alt. Monocilindrico
Generadores, transportadores de cinta, elevadores, montacargas, batidores, etc.	1	1.25	1.5
Accionamiento de máquinas herramientas, montacargas, mecanismos de giro, agitadores y mezcladores, bombas de embolo etc.	1.25	1.5	1.75
Punzonadoras, zizallas, máquinas laminadoras, dragas de cuchara etc.	1.75	2	2.25

Anexo 33. Diseño de eje para sujetador de botella.



Figura 61. Ensamble acople - rodamientos.

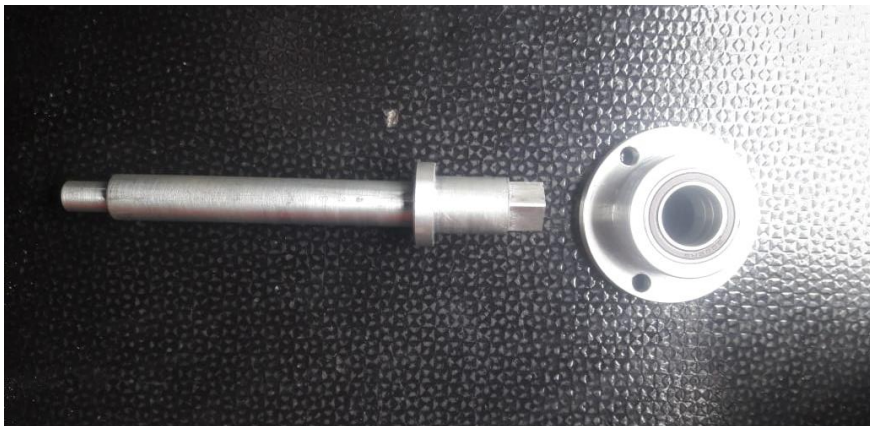


Figura 62. Ensamble eje-acople



Figura 63. Pieza ensamblada.

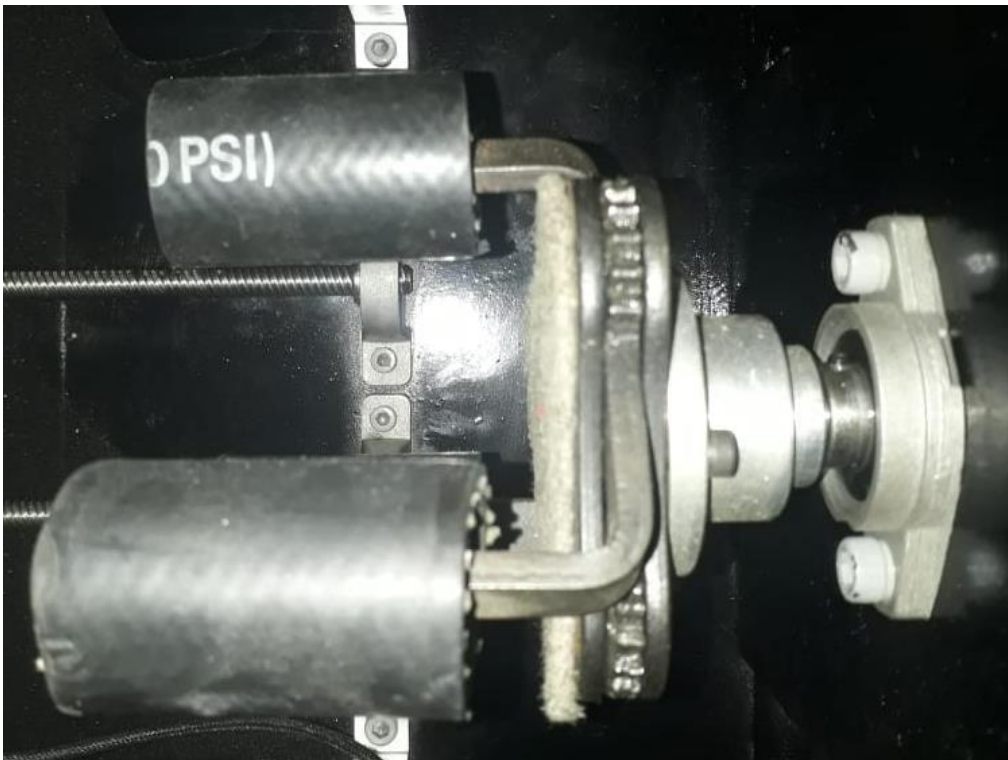


Figura 64. Ensamble pieza- sujetador de botella.

Anexo 34. Código Arduino.

/Declaración de los PULSADORES

byte PHorario_m1 = 10; //Pulsador sentido horario

byte PAntiHorario_m1 = 11; //Pulsador sentido anti horario

byte pulsador_inicio_m1 = 12; //Pulsador numero de pasos

//Declaración de los PULSADORES

byte PHorario_m2 = 13; //Pulsador sentido horario

byte PAntiHorario_m2 = A5; //Pulsador sentido anti horario

byte pulsador_inicio_m2 = A4; //Pulsador numero de pasos

//Declaración de los PINES del Driver

byte pinMotor1_In1 = 2; // 28BYJ48 pinMotor1_In1

byte pinMotor1_In2 = 3; // 28BYJ48 pinMotor1_In2

byte pinMotor1_In3 = 4; // 28BYJ48 pinMotor1_In3

byte pinMotor1_In4 = 5; // 28BYJ48 pinMotor1_In4

//definicion de pines

int pinMotor2_In1 = 6; // 28BYJ48 - In1

int pinMotor2_In2 = 7; // 28BYJ48 - In2

int pinMotor2_In3 = 8; // 28BYJ48 - In3

int pinMotor2_In4 = 9; // 28BYJ48 - In4

int horario1 = 1;

int horario2 = 1;

int rele_motor = A2;

int estado_rele = 0;

```

int pulsador_rele = A3;

int estadoboton = 0;          //0=almacena el estado del boton

// Pines para los pulsadores

int control_m1 = 0;

boolean encendido_m1 = false;

int control_m2 = 0;

boolean encendido_m2 = false;

**** Crear Matriz con los Pasos del Motor ****//

int paso1 = 4; //Variable que indica el número de pasos de las matrices

int Cpaso1 = 0; //Contador de pasos

int paso2 = 4; //Variable que indica el número de pasos de las matrices

int Cpaso2 = 0; //Contador de pasos

int ve1[5] = {5, 10, 30, 100, 500}; //Vector de velocidad

int Cvel1 = 0; //Contador de Velocidad

int ve2[5] = {5, 10, 30, 100, 500}; //Vector de velocidad

int Cvel2 = 0; //Contador de Velocidad

int conf1 = 1; //Variable que configura la secuencia de pasos

int conf2 = 1; //Variable que configura la secuencia de pasos

// Secuencia a medio paso

byte const MedioPaso1[4] = {

    B1000,

    B0100,

```

```

    B0010,

    B0001

};

// Secuencia a medio paso

byte const MedioPaso2[4] = { B1000,

    B0100,

    B0010,

    B0001

};

//Función que coloca en el puerto de salida los bits comenzando

// desde el pin ini hasta el pin fin

void puerto1(int bits, int ini, int fin) {

    for (int i = ini; i <= fin; i++)

    {

        digitalWrite(i, bitRead(bits, i - ini));

    }

}

void puerto2(int bits, int ini, int fin) {

    for (int i = ini; i <= fin; i++)

    {

        digitalWrite(i, bitRead(bits, i - ini));

    }

}

```

```

void setup() {

    //declarar pines como salida

    pinMode(pinMotor1_In1, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor1_In2, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor1_In3, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor1_In4, OUTPUT);

    //declarar pines como salida

    pinMode(pinMotor2_In1, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor2_In2, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor2_In3, OUTPUT);
    pinMode(pinMotor2_In4, OUTPUT);

    digitalWrite(pinMotor1_In1, LOW);
    digitalWrite(pinMotor1_In2, LOW);
    digitalWrite(pinMotor1_In3, LOW);
    digitalWrite(pinMotor1_In4, LOW);

    digitalWrite(pinMotor2_In1, LOW);
    digitalWrite(pinMotor2_In2, LOW);
    digitalWrite(pinMotor2_In3, LOW);
    digitalWrite(pinMotor2_In4, LOW);

    pinMode(PHorario_m1, INPUT);
    pinMode(PAntiHorario_m1, INPUT);
    pinMode(pulsador_inicio_m1, INPUT);

    pinMode(PHorario_m2, INPUT);

```

```

pinMode(PAntiHorario_m2, INPUT);

pinMode(pulsador_inicio_m2, INPUT);

pinMode(rele_motor, OUTPUT);

digitalWrite(rele_motor, HIGH);

}

void loop() {

    /*******//

    /*******   revisamos estado pulsador del rele   /*******//

    /*******//

    estado_rele = digitalRead(pulsador_rele); //lee el estado del botón

    if ((estado_rele == HIGH) && (estadoboton == 0)) { //si el boton es pulsado y el estado es cero

        estadoboton = 1; // cambia el estado a 1

        delay(200);      //pausa de 100 ms para evitar rebote

    }

    else if ((estado_rele == HIGH) && (estadoboton == 1)) //si el boton es pulsado y el estado es uno

    {

        estadoboton = 0; // cambia el estado a 0

        delay(100); //pausa de 100 ms para evitar rebote

    }

    if (estadoboton == 1) {      //si el estadoboton es 1

        digitalWrite(rele_motor, HIGH); //se enciende el rele

    }

}

```

```

else {          //si el estadoboton es 0

    digitalWrite(rele_motor, LOW); //se apaga el rele

}

//*****//

//***** Pulsadores motores de pasos *****//

//*****//

if (digitalRead(pulsador_inicio_m1)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado

{

    encendido_m1 = !encendido_m1;

    delay(100); //Anti-Rebote

}

if (digitalRead(pulsador_inicio_m2)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado

{

    encendido_m2 = !encendido_m2;

    delay(100); //Anti-Rebote

}

if (encendido_m1 == true) {

    // Giro en Sentido Horario M1

    if (digitalRead(PHorario_m1)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado

    {

        delay(100); //Anti-Rebote

        horario1 = 1;

        Cpaso1 = -1;

    }

}

```

```

// Giro en Sentido Anti-Horario

if (digitalRead(PAntiHorario_m1)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado
{
    delay(100); //Anti-Rebote

    horario1 = 0;

    Cpaso1 = paso1;
}

//*****

//*****   Logica de los contadores   *****

//*****

if (horario1 == 1)
{
    Cpaso1++;          //Incremente la variable cont

    if (Cpaso1 >= paso1)

        Cpaso1 = 0;          //Se pone Contador de pasos en cero
}

else {

    Cpaso1--;          //Decremente la variable cont

    if (Cpaso1 < 0)

        Cpaso1 = paso1 - 1;      //Se pone Contador igual al paso
}

// -----

//*****

//*****   Secuencia de Movimiento del Motor   *****

```



```

//*****//

puerto1(MedioPaso1[Cpaso1], pinMotor1_In1, pinMotor1_In4); //Envíe al puerto la información de la tabla
paso1 = 4;
}

if (encendido_m2 == true) {

// Giro en Sentido Horario M2

if (digitalRead(PHorario_m2)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado
{
delay(100); //Anti-Rebote

horario2 = 1;

Cpaso2 = -1;
}

// Giro en Sentido Anti-Horario

if (digitalRead(PAntiHorario_m2)) // Pregunta si pulsador horario fue presionado
{
delay(100); //Anti-Rebote

horario2 = 0;

Cpaso2 = paso2;
}

//*****//

//***** Logica de los contadores *****//

```

```

//*****//

// -----

if (horario2 == 1)

{

  Cpaso2++;          //Incremente la variable cont

  if (Cpaso2 >= paso2)

    Cpaso2 = 0;      //Se pone Contador de pasos en cero

}

else {

  Cpaso2--;         //Decremente la variable cont

  if (Cpaso2 < 0)

    Cpaso2 = paso2 - 1;    //Se pone Contador igual al paso

}

//*****//

//***** Secuencia de Movimiento del Motor *****//

//*****//

puerto2(MedioPaso2[Cpaso2], pinMotor2_In1, pinMotor2_In4); //Envíe al puerto la información de la tabla

paso2 = 4;

}

delay(ve11[0]);      //Retardo de 100 milisegundos

}

```

PLANOS

Formato y modelo de planos mecánicos (recurso en AutoCad):

<https://drive.google.com/file/d/1ZIYSbaGgrZw9WYaNi13INiwXYu1qKRGC/view?usp=sharing>