



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Modelo didáctico para manejo de  
entradas y salidas analógicas**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Rafael Pedraza Islas

**DIRECTOR DE TESIS**

M.F. Gabriel Hurtado Chong



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria

*A mis padres:*

*Rafael Pedraza Durán.*

*Catalina Islas Gutiérrez.*

*A mi hermana:*

*Adriana Pedraza Islas*

## **Agradecimientos**

A mis padres, que siempre han estado ahí para apoyarme, aconsejarme, escucharme y motivarme para seguir adelante en cada momento, a quienes les debo todo.

A mi hermana que me ha enseñado a ver las cosas desde otro punto de vista.

A mis primos y tíos que me ayudaron enormemente para poder finalizar este trabajo.

A todos los conocidos y amigos que me acompañaron a lo largo de la licenciatura y la hicieron menos pesada.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme las herramientas necesarias para ser un profesionista.

A mi director de tesis M.F. Gabriel Hurtado Chong por todo su apoyo y paciencia.

A todos los que me ayudaron en este proyecto, ya que es el resultado de la suma de su ayuda.

A mis sinodales:

M.A. Luis Yair Bautista Blanco.

M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro.

Ing. Miriam Graciela Mendoza Cano.

Ing. Sergio Carlos Crail Corzas.

# ÍNDICE

## Contenido

Introducción .....	1
Objetivo .....	3
<b>Objetivos específicos</b> .....	3
Capítulo 1. Marco Teórico.....	4
<b>1.1 Sensores</b> .....	4
<b>1.2 Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés)</b> .....	13
Capítulo 2. Elaboración de la propuesta.....	15
<b>2.1 Definición del proceso.</b> .....	15
<b>2.2 Mecanismos.</b> .....	21
<b>2.3 Descripción de los mecanismos.</b> .....	22
<b>2.4 Selección de sensores.</b> .....	36
<b>2.5 Selección de Actuadores</b> .....	39
Capítulo 3. Construcción del modelo. ....	41
<b>3.1 Construcción de mecanismos.</b> .....	41
<b>3.2 Construcción de base del modelo.</b> .....	87
<b>3.3 Diagramas eléctricos.</b> .....	89
Capítulo 4. Ajustes y mantenimiento.....	104
<b>4.1 Funcionamiento de modelo.</b> .....	104
Capítulo 5. Resultados. ....	130
<b>5.1 Prueba de modelo.</b> .....	130
<b>5.2 Uso para fines académicos</b> .....	140
<b>5.2.1 Objetivos de aprendizaje</b> .....	140
<b>5.2.2 Ciclos de trabajo</b> .....	140
Conclusiones.....	141
Fuentes y referencias .....	142

## Índice de Figuras.

Figura 1. 1. Forma típica de un microinterruptor.	5
Figura 1. 2. Sensor fotoeléctrico de barrera.	6
Figura 1. 3. Sensor fotoeléctrico de espejo.	6
Figura 1. 4. Sensor fotoeléctrico de reflexión difusa.	7
Figura 1. 5. Sensor fotoeléctrico de reflexión definida.	7
Figura 1. 6. Sensor ultrasónico de barrera.	8
Figura 1. 7. Sensor ultrasónico de eco.	9
Figura 1. 8. Tipo de señal que pueden generar los sensores.	10
Figura 1. 9. Sensor ultrasónico de reflexión.	11
Figura 1. 10. Sensor de contraste.	12
Figura 1. 11. Sensor cromático.	13
Figura 2. 1. Depósito de esferas blancas y negras.	15
Figura 2. 2. Esferas blancas y negras separadas en dispensadores.	16
Figura 2. 3. Llenado de canasta sobre banda transportadora.	16
Figura 2. 4. Proceso.	17
Figura 2. 5. Depósito de inicio.	17
Figura 2. 6. Dispensadores.	18
Figura 2. 7. Banda transportadora.	18
Figura 2. 8. Canasta.	18
Figura 2. 9. Primera parte de vaciado.	19
Figura 2. 10. Segunda parte de vaciado.	19
Figura 2. 11. Tercera parte de vaciado.	20
Figura 2. 12. Segunda banda transportadora.	20
Figura 2. 13. Regreso de esferas a inicio.	20
Figura 2. 14. Plano de modelo propuesto.	21
Figura 2. 15. Ubicación de mecanismos en el modelo.	22
Figura 2. 16. Ilustración del mecanismo levadizo.	23
Figura 2. 17. Mecanismo separador propuesto.	24
Figura 2. 18. Mecanismo de dispensadores.	25
Figura 2. 19. Banda transportadora.	25
Figura 2. 20. Secuencia de movimientos que sigue el mecanismo.	26
Figura 2. 21. Representación del mecanismo.	27
Figura 2. 22. Movimiento del mecanismo.	28
Figura 2. 23. Funcionamiento de rieles. a) Se aprecia la palanca A, se mueve sobre el eje X (adelante-atrás). b) La palanca B, se mueve sobre el eje Y (izquierda-derecha).	28
Figura 2. 24. Mecanismo de las dos palancas en uno mismo.	29
Figura 2. 25. Mecanismo de vaciado.	30
Figura 2. 26. Segundo mecanismo retira canastas.	31
Figura 2. 27. Tres tipos de movimientos de la pinza del segundo mecanismo retira-canastas.	31

Figura 2. 28. Avance y regreso de la pinza.	32
Figura 2. 29. Giro horario y anti-horario de 90° de pinza sobre el mismo plano.	33
Figura 2. 30. Movimiento de elevación de pinza.	34
Figura 2. 31. Mecanismo conformado con los tres movimientos en el mismo sistema.	34
Figura 2. 32. Segunda banda transportadora.	35
Figura 2. 33. Mecanismo de regreso.	36
Figura 2. 34. LilyPad Light Sensor.	37
Figura 2. 35. Sensor Lilypad con adaptación de LED.	37
Figura 2. 36. Sensor ultrasónico LV-MaxSonar®-EZ3TM.	38
Figura 2. 37. Micro Switch W rodillo de palanca.	38
Figura 2. 38. Arreglo de sensor fotoeléctrico de barrera.	39
Figura 2. 39. Motor PF mediano.	40
Figura 2. 40. Motor XL.	40
Figura 3. 1. Reductor de velocidad con engranes paralelos.	43
Figura 3. 2. Engrane de 40 dientes del reductor de velocidad haciendo contacto con engrane de 24 dientes.	43
Figura 3. 3. Engranes de 24 dientes con paleta en su flecha.	44
Figura 3. 4. Tren de engranes.	44
Figura 3. 5. Vista superior del mecanismo levadizo.	45
Figura 3. 6. Vista lateral del mecanismo levadizo.	45
Figura 3. 7. Adaptación de Sensor LilyPad Light Sensor y LED de luz blanca.	46
Figura 3. 8. Adaptación de sensor fotoeléctrico en la parte superior.	46
Figura 3. 9. Mecanismo levadizo vista frontal con aislamiento de sensor fotoeléctrico Lilypad.	47
Figura 3. 10. Reductor de velocidad.	48
Figura 3. 11. Biela-manivela.	48
Figura 3. 12. Biela-manivela unida con separador.	49
Figura 3. 13. Mecanismo separador.	50
Figura 3. 14. a) adaptación de micro switch. b) colocación de micro switch al inicio del recorrido de la biela.	51
Figura 3. 15. Dispensadores construidos como carriles.	52
Figura 3. 16. Reductor de velocidad.	53
Figura 3. 17. Flecha de engrane con barras.	53
Figura 3. 18. Mecanismo para regular el paso de esferas. a) Dispensador con 4 esferas detenidas por una de las barras. b) Mecanismo deja pasar una esfera y detiene a las 3 restantes.	54
Figura 3. 19. Dispensadores construidos.	54
Figura 3. 20. Adaptación de micro switch.	55
Figura 3. 21. a) micro switch en reposo. b) Al girar el engrane de 40 dientes giran las barras que permiten el paso de las esferas, al mismo tiempo que se cuentan.	55
Figura 3. 22. a) reductor de velocidad de engranes paralelos. b) vista superior, se aprecia motor.	57
Figura 3. 23. Construcción de transmisión y armazón de la banda.	57

Figura 3. 24. Banda transportadora instalada.	58
Figura 3. 25. Adaptación de sensor ultrasónico LV-MaxSonar al inicio de la banda transportadora.	58
Figura 3. 26. a) Sensor foto eléctrico de barrera. b) Adaptación de sensores fotoeléctricos de barrera a los laterales de la primera banda transportadora.	59
Figura 3. 27. Banda transportadora.	60
Figura 3. 28. Reductor de velocidad.	61
Figura 3. 29. Disposición de engranes.	61
Figura 3. 30. Cadena.	62
Figura 3. 31. Barras paralelas.	62
Figura 3. 32. Mecanismo síncrono.	63
Figura 3. 33. a) La palanca A es empujada hacia enfrente. b) La palanca B es empujada hacia enfrente. c) A regresa. d) B regresa.	63
Figura 3. 34. a) Palanca A, eje en plano X. b) palanca B, eje en plano Z.	64
Figura 3. 35. Rieles izquierda-derecha.	64
Figura 3. 36. Rieles adelante-atrás.	65
Figura 3. 37. Rieles adelante-atrás sobre rieles izquierda-derecha.	65
Figura 3. 38. Barras A y B unidas a carriles.	66
Figura 3. 39. a) compartimentos. b) superficie fija.	66
Figura 3. 40. Primer mecanismo retira canastas.	67
Figura 3. 41. Adaptación microswitch.	67
Figura 3. 42. Reducción de velocidad.	68
Figura 3. 43. Mecanismo de sujeción.	69
Figura 3. 44. Palanca a 90° de dos barras.	69
Figura 3. 45. Secuencia de movimientos de mecanismo de vaciado. a) La parte móvil se encuentra al inicio de los rieles. b) La parte móvil avanza sobre los rieles hacia la parte fija cuando la palanca se activa. c) A medida que la palanca baja el mecanismo de sujeción 70	
Figura 3. 46. Rampa. a) Rampa hacia la izquierda. b) Rampa hacia la derecha.	71
Figura 3. 47. Reductor, rampa y mecanismo de sujeción.	71
Figura 3. 48. Movimiento de mecanismo controlado por biela.	73
Figura 3. 49. a) Microswitch. b) Microswitch activado.	73
Figura 3. 50. Reductor de velocidad.	74
Figura 3. 51. Flecha perpendicular.	75
Figura 3. 52. Biela mueve la barra provocando movimiento de péndulo.	76
Figura 3. 53. Movimiento de péndulo transmitido.	76
Figura 3. 54. Engranes de 24 y 12 dientes provocan movimiento oscilatorio de brazo.	77
Figura 3. 55. a) Partes; brazo, rieles. b) Movimiento brazo 0° a 180°, desplazamiento en rieles.	77
Figura 3. 56. Muelle bajo par de rieles.	78
Figura 3. 57. Parte inferior de la pinza.	78
Figura 3. 58. Pinza. a) La pinza se encuentra en el extremo de los rieles. b) La pinza se desliza hacia la izquierda y la parte inferior hace contacto con el muelle permitiendo la rotación. c) La pinza ha rotado 90° anti-horario. d) Se repite el movimiento.	79
Figura 3. 59. Engrane de 8 dientes contenido en la flecha principal.	80
Figura 3. 60. Biela en forma de cuadrante.	80

Figura 3. 61. Palanca.	81
Figura 3. 62. a) Pinza en posición baja. b) Activación de palanca, pinza asciende.	81
Figura 3. 63. Microswitch bajo flecha de engrane.	82
Figura 3. 64. Engrane de 24 y 40 dientes.	82
Figura 3. 65. Flecha de engrane de 40 dientes a engrane de 24.	83
Figura 3. 66. Segunda banda transportadora.	83
Figura 3. 67. Reductor de velocidad.	84
Figura 3. 68. Banda transportadora modificada.	85
Figura 3. 69. Armazón de banda transportadora.	85
Figura 3. 70. Instalación de banda.	86
Figura 3. 71. Carril de regreso.	86
Figura 3. 72. Carril de inicio.	87
Figura 3. 73. Cajón/ base de modelo.	87
Figura 3. 74. Cajón/ Base sin una de las paredes.	88
Figura 3. 75. Cajón/ Base.	88
Figura 3. 76. Microswitch.	89
Figura 3. 77. Sensor fotoeléctrico de barrera.	90
Figura 3. 78. Sensor ultrasónico Max-Sonar.	91
Figura 3. 79. Sensor LilyPad Light Sensor.	91
Figura 3. 80. Motor PF mediano.	92
Figura 3. 81. Motor PF salida analógica.	93
Figura 3. 82. Conector DB25 macho.	93
Figura 3. 83. Vista frontal de base del modelo.	94
Figura 3. 84. Cable DB25 macho-hembra.	94
Figura 3. 85. Cables planos de 26 hilos correspondientes a sensores y motores.	95
Figura 3. 86. Vista posterior de la bornera.	95
Figura 3. 87. Pines de jumper.	96
Figura 3. 88. Vista inferior de jumper, localización de pines.	96
Figura 3. 89. Vista de perfil de jumper, localización de pines 1 y 14.	97
Figura 3. 90. Numeración de nodos de Protoboard derecha e izquierda.	97
Figura 3. 91. Disposición de pines de conector DB25 macho.	98
Figura 3. 92. Disposición de pines de conector DB25 hembra.	98
Figura 3. 93. Vista inferior de jumper, localización de pines.	98
Figura 3. 94. Numeración de nodos de Protoboard derecha e izquierda.	99
Figura 3. 95. Bornes para entradas discretas y analógicas.	101
Figura 3. 96. Bornes para salidas digitales y analógicas.	103
Figura 3. 97. Disposición de bornes en pared frontal de bornera.	103
Figura 4. 1. Ajuste de LED para detección de color.	104
Figura 4. 2. Simplificación de mecanismo levadizo vista lateral. a) paletas sincronizadas. b) paleta superior desincronizada.	105
Figura 4. 3. Engranes de 24 dientes, con paleta en su flecha.	105
Figura 4. 4. Desacople del engrane que contiene la paleta desincronizada.	106
Figura 4. 5. Vista contraria del mecanismo levadizo.	106

Figura 4. 6. Retirar engrane de 8 dientes.	107
Figura 4. 7. Verificar alineación de paletas.	108
Figura 4. 8. Engrane de 8 dientes nuevamente colocado.	109
Figura 4. 9. Simplificación de mecanismo levadizo, vista frontal. a) Barra retraída, paletas giran libremente. b) Barra se interpone en el giro de paletas provocando colisión.	110
Figura 4. 10. Microswitch desactivado.	111
Figura 4. 11. Motor 2 de mecanismo separador desacoplado.	112
Figura 4. 12. Giro horario – anti-horario de engrane hasta escuchar activación de microswitch 1.	113
Figura 4. 13. Motor 2 se instala nuevamente	113
Figura 4. 14. Esfera atascada en mecanismo de dispensador.	114
Figura 4. 15. Identificar engrane de 8 dientes.	114
Figura 4. 16. Retirar engrane de 8 dientes de su flecha.	115
Figura 4. 17. Giro manual anti-horario de engrane de 40 dientes superior.	115
Figura 4. 18. Acoplamiento de engrane de 8 dientes con motor PF.	116
Figura 4. 19. Ubicación de microswitch 4.	117
Figura 4. 20. Desacoplar motor de mecanismo.	117
Figura 4. 21. Giro manual de engrane de 40 dientes.	118
Figura 4. 22. Microswitch activado.	118
Figura 4. 23. Cadenas de sincronía.	119
Figura 4. 24. Engranajes de 24 dientes rodeados por cadena.	119
Figura 4. 25. a) Cadena fracturada. b) Cadena restaurada.	120
Figura 4. 26. Par de cadenas.	120
Figura 4. 27. Muelle en cadena.	121
Figura 4. 28. Simplificación de mecanismo síncrono. a) Par posterior. b) Par anterior.	121
Figura 4. 29. Canasta retenida en mecanismo de vaciado.	122
Figura 4. 30. Ubicación de motor 6.	123
Figura 4. 31. Retirar motor 6.	123
Figura 4. 32. Regresando mecanismo de vaciado a su posición de descanso y retirando canasta.	124
Figura 4. 33. Motor 6 colocado nuevamente.	124
Figura 4. 34. Ubicación de engranes.	125
Figura 4. 35. Retirar engrane de 8 dientes.	125
Figura 4. 36. Giro manual en sentido horario de segundo retira canastas.	126
Figura 4. 37. Engrane de 8 dientes en su posición original.	126
Figura 4. 38. Ubicación de engrane cónico.	127
Figura 4. 39. Desacople de engrane cónico de 24 dientes.	127
Figura 4. 40. Giro manual en sentido anti-horario de engrane de 40 dientes.	128
Figura 4. 41. Palanca de desvío.	128
Figura 4. 42. Palanca se recarga hacia el lado izquierdo para desvío de esferas.	129
Figura 4. 43. Salida de esferas por debajo de superficie fija.	129

## Índice de tablas.

Tabla 3. 1. Especificaciones de mecanismo levadizo.	41
Tabla 3. 2. Especificaciones de mecanismo separador.	47
Tabla 3. 3. Especificaciones de mecanismo de dispensadores.	52
Tabla 3. 4. Especificaciones de primera banda transportadora.	56
Tabla 3. 5. Especificaciones de primer mecanismo retira canastas.	60
Tabla 3. 6. Especificaciones de mecanismo de vaciado.	68
Tabla 3. 7. Especificaciones de segundo mecanismo retira canastas.	74
Tabla 3. 8. Especificaciones de segunda banda transportadora.	82
Tabla 3. 9. Especificaciones de mecanismo de regreso.	84
Tabla 3. 10. Entradas discretas y analógicas.	89
Tabla 3. 11. Salidas discretas y analógicas.	89
Tabla 3. 12. Conexiones de sensores modelo-bornera.	100
Tabla 3. 13. Conexión de bornes.	101
Tabla 3. 14. Conexiones de motores modelo-bornera.	102
Tabla 5. 1. Asignación de motores. ....	130
Tabla 5. 2. Asignación de sensores. ....	130



# Introducción

Los Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) son de suma importancia en las industrias de manufactura ya que controlan todo o parte de un sistema, desde una máquina hasta un proceso industrial. Por ello, el conocimiento de los fundamentos teóricos y su aplicación práctica es fundamental para los ingenieros.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se imparten las asignaturas de Automatización Industrial y Automatización Avanzada en donde los estudiantes aprenden el manejo de estos controladores. Estas asignaturas se cursan en el Laboratorio de Automatización Industrial, donde los estudiantes de licenciatura aprenden el manejo de sensores discretos y analógicos, así como los diferentes tipos de actuadores que forman parte de las entradas y salidas analógicas del PLC.

Actualmente en el laboratorio se cuenta con sensores analógicos por separado. Si bien, el estudiante puede trabajar con ellos, se carece de un modelo de una simulación industrial que los integre. Cuando los sensores están integrados en un modelo se entienden mejor algunas de las aplicaciones de estos en la industria.

Esta tesis fue propuesta con la finalidad de que el laboratorio de automatización tenga un modelo con entradas y salidas analógicas. Este modelo ayudará a los alumnos de la Facultad de Ingeniería a reforzar la teoría impartida en clase sobre las entradas y salidas analógicas del PLC, así como su programación y simulación en un proceso industrial.

El modelo se controlará por un PLC Allen Bradley SLC modular que cuenta con 16 entradas digitales, 2 entradas analógicas 16 salidas digitales y 2 salidas analógicas.

El trabajo consta de 4 capítulos donde se explica el proceso de construcción y programación del modelo.

En el primer capítulo se presenta el marco teórico, a pesar de que en la actualidad existen en la industria una cantidad abundante de sensores, se describen únicamente los utilizados para este modelo, así como una reseña de PLC ya que es el encargado de controlar, y monitorear el proceso.

El segundo capítulo da a conocer la propuesta del proceso, se explica el concepto de cada uno de los mecanismos que se proponen para cumplir con el objetivo del proceso, así como de los sensores y actuadores seleccionados para controlar el proceso.

En el tercer capítulo se explica cómo se construyó cada uno de los mecanismos propuestos en el capítulo dos, la ubicación de los sensores y actuadores dentro del modelo, los diagramas eléctricos y la conexión eléctrica interna del modelo.

En el cuarto capítulo se indican las condiciones para que el modelo funcione adecuadamente, la solución de fallas mecánicas en caso de que se presentasen.

En el quinto capítulo se da un ejemplo del diagrama de flujo que se siguió para la realización de una prueba de funcionamiento, los objetivos de aprendizaje del estudiante y un ejemplo de una práctica propuesta para el proceso.

## **Objetivo**

Construir un modelo físico para la enseñanza del uso de entradas y salidas analógicas para la asignatura de Automatización Avanzada.

## **Objetivos específicos**

Diseñar un proceso que cumpla con el llenado de canastas con esferas de dos colores distintos.

Diseñar los mecanismos necesarios para el funcionamiento del proceso.

Construir los mecanismos necesarios para el funcionamiento del modelo.

Integrar los mecanismos en un modelo físico que realice el llenado de canastas con esferas de dos colores diferentes.

Que los alumnos de la Facultad de Ingeniería cuenten con un modelo físico que contribuya al aprendizaje del manejo de entradas y salidas analógicas

## Capítulo 1. Marco Teórico

### 1.1 Sensores

Según Kenny [1] un sensor es un dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica. Se pueden considerar como una interfaz entre el mundo que nos rodea y el mundo de los dispositivos eléctricos.

Serna et al [2] definen sensor como dispositivos electrónicos que dan información sobre el entorno que los rodea, de tal modo que reciben información de variables para así procesarlas y generar órdenes o iniciar procesos.

Ya que hay diferentes tipos de fenómenos físicos, los sensores se pueden clasificar en dos tipos según su funcionamiento (Mandado et al [3]):

1. Sensores activos o de contacto: La medición se realiza mediante la energía suministrada para generar la señal [3].

Características de estos sensores:

- Pueden detectar cualquier objeto.
- No les afectan ruidos eléctricos, fuente de luz o radiaciones externas.
- Generan una variable binaria, es decir, existe o no existe objeto.
- Funcionan mecánicamente, no necesitan alimentación eléctrica.

Dentro los sensores de contacto se tienen los Microinterruptores.

#### Microinterruptores

Se ocupan para detectar la posición de un mecanismo, tienen alto nivel de precisión y un tamaño muy reducido [3].

Algunos ejemplos de uso son:

- Detección de objetos.
- Detección de piezas en movimiento.
- Detección de órdenes manuales.

La figura 1.1. Muestra la forma típica de un microinterruptor.

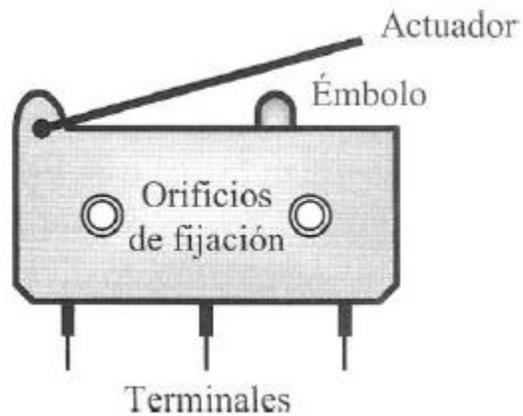


Figura 1. 1. Forma típica de un microinterruptor.

Fuente. Mandado et all., 2009.

1. Sensores pasivos o sin contacto: La medición la realizan cuando la magnitud física que medirán cambia uno de sus parámetros eléctricos [3].

Dentro de los sensores sin contacto se tienen los siguientes:

- a) Sensores fotoeléctricos.

Se componen generalmente de un emisor y un receptor; la luz emitida puede ser directa o indirectamente recibida por el receptor. Este tipo de sensores se utilizan para medir la cantidad de luz recibida o reflejada en un objeto y dan un valor proporcional a la cantidad de luz recibida [3]

Dentro de los sensores fotoeléctricos hay dos tipos: de barrera y de reflexión.

#### **Sensores fotoeléctricos de barrera.**

El emisor y el receptor se encuentran uno frente a otro. Detectan cuando un objeto pasa entre ellos al interrumpirse el haz de luz [3], como se muestra en la figura 1.2.

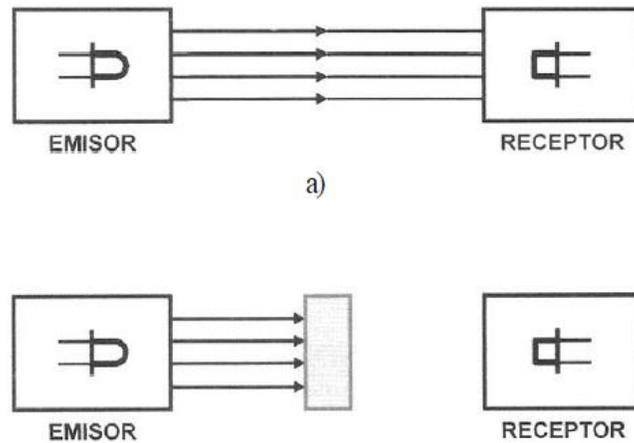


Figura 1. 2. Sensor fotoeléctrico de barrera.

Fuente. Mandado et all., 2009.

**Sensores fotoeléctricos de reflexión de espejo.**

En estos sensores fotoeléctricos, el emisor y el receptor se encuentran en el mismo dispositivo y se les coloca un espejo enfrente. Estos espejos son especiales, ya que se componen de diminutos triédros que regresan la luz hacia el receptor de manera directa. En la figura 1.3 se muestra su funcionamiento.

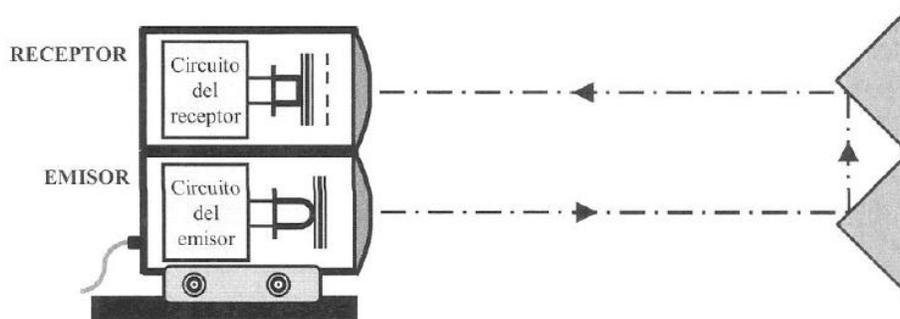


Figura 1. 3. Sensor fotoeléctrico de espejo.

Fuente. Mandado et all., 2009.

Si la reflexión es directa sobre un objeto los sensores pueden ser difusos o definidos.

### Sensores fotoeléctricos de reflexión difusa.

La luz se refleja en el objeto y vuelve al receptor. Sin embargo, al chocar la luz en el objeto puede reflejarse en muchas direcciones [3]. En la figura 1.4 se muestra el funcionamiento de este tipo de sensores.

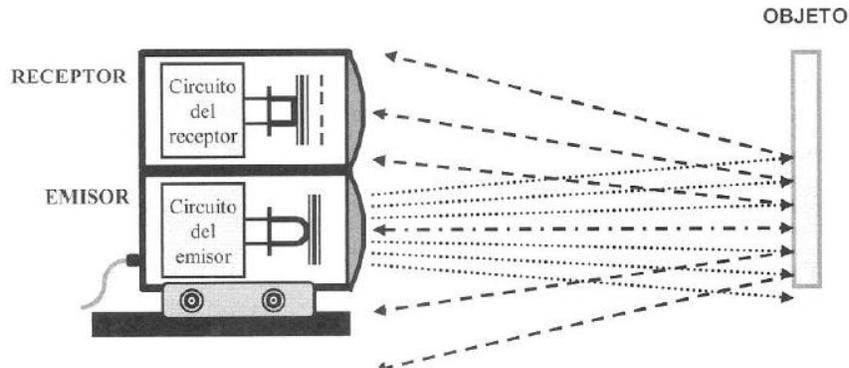


Figura 1. 4. Sensor fotoeléctrico de reflexión difusa.

Fuente. Mandado et all., 2009

### Sensores fotoeléctricos de reflexión definida.

La fuente de luz emitida dentro del emisor se encuentra más alejada que el eje focal de la lente emisor; en el receptor pasa lo mismo. El emisor se sitúa a una distancia igual al doble de la distancia focal.

Este tipo de arreglo ocasiona que los rayos de luz del emisor lleguen al receptor solamente si el objeto se encuentra en una posición determinada, para que el objeto pueda reflejar la luz hacia el receptor [3].

Se ocupan para posiciones de muy alta precisión. En la figura 1.5. Se muestra el funcionamiento de los sensores fotoeléctricos de reflexión definida.

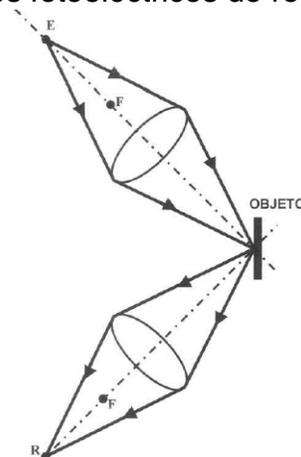


Figura 1. 5. Sensor fotoeléctrico de reflexión definida.

Fuente. Mandado et all., 2009.

## b) Sensores ultrasónicos.

Estos sensores funcionan mediante la emisión de sonidos con frecuencias mayores a los audibles por el ser humano; es decir, que exceden los 20 kHz.

Estos sensores pueden tener el emisor ultrasónico separado del receptor, o bien, el emisor y el receptor pueden estar dispuestos en el mismo dispositivo.

Se ocupan para detectar la presencia de objetos o para determinar distancias que hay entre el objeto y el sensor.

Dentro de los sensores ultrasónicos encontramos:

### i) Sensores ultrasónicos de barrera.

Su funcionamiento es parecido a los sensores fotoeléctricos de barrera. La diferencia está en que en vez de un haz de luz, el emisor genera ultrasonido y un receptor frente a él lo recibe. Si un objeto se interpone entre emisor y receptor, se genera una interrupción de las ondas ultrasónicas como se muestra en la figura 1.6 [3].

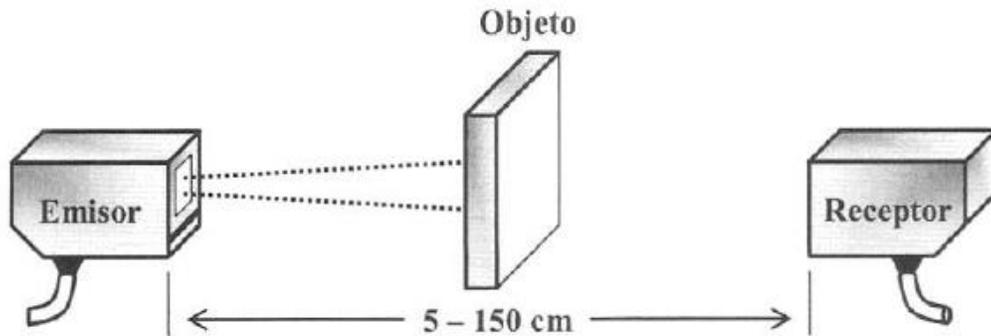


Figura 1. 6. Sensor ultrasónico de barrera.

Fuente. Mandado et all., 2009.

### ii) Sensores ultrasónicos de eco.

Detectan la presencia de un objeto y miden la distancia que hay entre el sensor y el objeto. Su funcionamiento se basa en el rebote de ondas sonoras con el objeto, las cuales son detectadas por el receptor.

Estos sensores funcionan por medio de un circuito asociado al receptor que mide el tiempo que tarda en recibir el eco una vez que el emisor mandó el ultrasonido [3].  
Figura 1.7.

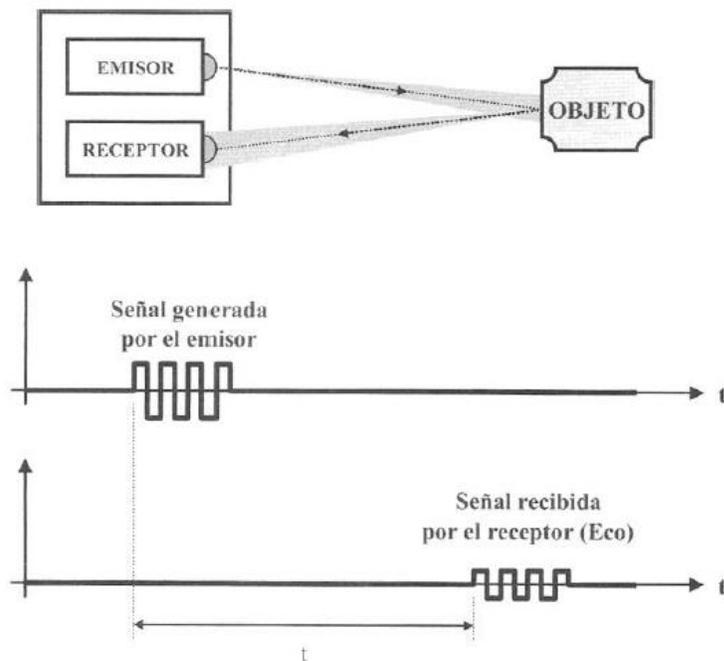


Figura 1. 7. Sensor ultrasónico de eco.

Fuente. Mandado et al., 2009.

Los sensores se clasifican de acuerdo a la señal de salida que generan [3].

**a) Sensores de salida discreta:**

Solo pueden tener dos niveles de voltaje a los que se les asigna números binarios "0" o "1", se le da el nombre de "bit" [3].

Ejemplos de sensores con salida discreta:

- Encoders para posición angular.
- Detector inductivo u óptico para velocidad lineal o angular.
- Botones pulsadores.
- Finales de carrera.
- Piezoeléctricos.

**b) Sensores de salida analógica:**

Pueden tomar muchos valores de corriente o voltaje entre un mínimo y un máximo [5]. Los márgenes de voltaje más comunes son de 0 a 10V, de 1 a 5V, de -5 a 5V y de -10 a 10V.

Ejemplos de sensores con salida analógica:

- Potenciómetros de posición angular.
- Galga Dinamo para desplazamientos pequeños o deformaciones.
- Acelerómetro para aceleración.
- Piezoeléctrico para fuerza aplicada.
- De turbina para caudal.
- Magnético para caudal.
- Termopar para temperatura.

En la figura 1.8 se muestra el Tipo de señal de salida que generan.

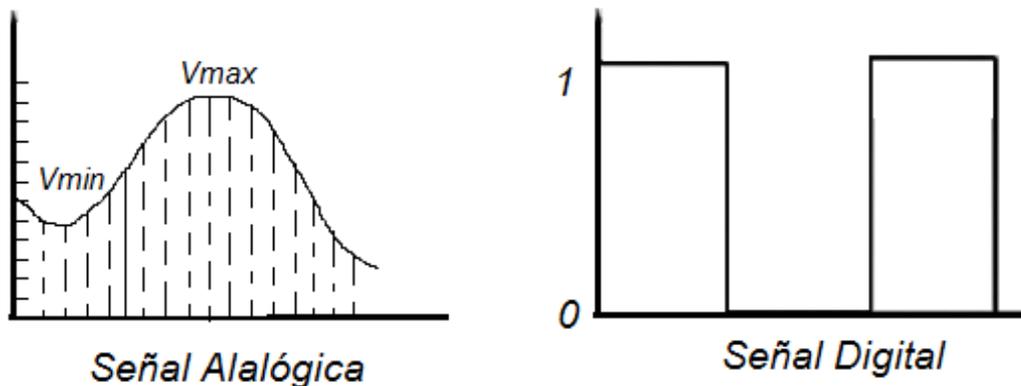


Figura 1. 8. Tipo de señal que pueden generar los sensores.

Fuente. Serna et all., 2010.

### **Sensores en la actualidad.**

La empresa PEPPERL+FUCHS [4] es un líder en desarrollo y la fabricación de sensores y dispositivos para la automatización.

Actualmente en la industria, los sensores ultrasónicos son altamente usados por su fiabilidad y versatilidad, ya que pueden realizar tareas complejas relacionadas con la detección de objetos con una precisión milimétrica, siendo fiables en casi todo tipo de condiciones.

Son muy resistentes para condiciones de trabajo difíciles, la superficie del sensor se limpia sola por vibración, al ser la propagación del sonido su principio físico, se pueden ocupar prácticamente en cualquier entorno [4].

Algunos sectores de la industria donde son utilizados son:

- Herramientas para maquinaria.
- Alimentación y bebidas.

- Trabajos de madera y mobiliario.
- Agricultura.
- Diseño.
- Pasta y papel.
- Manipulación de materiales.
- Medición de nivel.

Los sensores con mayor frecuencia en modo de detección directa son por barrera de reflexión (Figura 1.9), donde se utiliza un único transductor como emisor y receptor al mismo tiempo y suele encontrarse en la misma carcasa que el sistema electrónico de evaluación [4].



Figura 1. 9. Sensor ultrasónico de reflexión.

Estos sensores se pueden elegir según la tarea que vayan a desarrollar, y dependen de los siguientes parámetros:

- Tipo de operación: de detección directa, ópticos de barrera por reflexión, fotoeléctricos de detección directa para evaluación independiente.
- Tipo: rectangular, cilíndrico, tipo especial.
- Límite superior del rango de medición: su rango va de los 500 mm a más de 6000 mm.
- Tipo de alimentación: CA/CC, Corriente continua, corriente alterna.
- Salida: de 0 a 10 V, de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA, NPN, Contacto relés, contrafase, PNP, 2 x PNP, 2 x NPN, IO-link, Frecuencia.
- Tipo de conexión eléctrica: Conector, compartimiento de terminales, cable.
- Material de carcasa: metal, acero inoxidable, plástico.

Otros tipos de sensores ultrasónicos:

- Sensores ultrasónicos de barrera unidireccionales.
- Sensores de dos hojas.

## **Sensores fotoeléctricos [4].**

Existen actualmente en la industria una gran variedad de sensores fotoeléctricos para diferentes aplicaciones, entre ellos cabe mencionar:

- Sensores fotoeléctricos estándar.
- Sensores de fibra óptica.
- Sensores ópticos de horquilla y herradura.
- Rejillas ópticas.
- Sensores de distancia.
- Emisores ópticos de datos.
- Sensores fotoeléctricos de seguridad.
- Sensores para entradas y accesos automatizados.

## **Sensores de contraste.**

Estos sensores (Figura 1.10) se utilizan para la colocación precisa de objetos en impresoras, plantas de embalaje y rotuladora en los sectores alimenticio y farmacéutico. Tienen una baja resolución de contraste, un alto grado de fiabilidad cuando las diferencias de contraste son mínimas, breves tiempos de respuesta e insensibilidad a fluctuaciones de altura y ángulo de la red de materiales [4].



Figura 1. 10. Sensor de contraste.

Existe en la industria una variedad de estos sensores, una vez ubicada la función que desempeñarán se pueden elegir por:

- Tipo de luz: puede ser LED multicolor o luz roja
- Salida de conexión: PNP, NPN, PNP / NPN, contrafase.
- Material de carcasa: metal, acero inoxidable, plástico.
- Alcance máximo: su rango de operación depende de la función que se desarrollará, existen desde menos de 10 mm a más de 800 mm.

## **Sensores cromáticos.**

A diferencia de los de contraste, estos sensores (Figura 1.11) funcionan con fondos multicolores. El sensor explora regularmente el material objetivo en los canales de color R/G/B para detectar el color aprendido. Teniendo tres colores diferentes que se pueden aprender y reconocer en paralelo [4].



Figura 1. 11. Sensor cromático.

## **1.2 Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés)**

El control lógico ha sido utilizado para controlar secuencias de acciones de manufactura durante muchos años; sin embargo, antes se utilizaban relevadores, transmisores electrónicos, unidades de lógica y de tiempo, esto hacía inflexible una producción, ya que si el programa de maquinación era cambiado y ya había sido cableado todo el sistema, se tenía que desconectar y reconectar para adaptarse a la nueva demanda.

Cuando las microcomputadoras pudieron ser adquiridas hacia los años 70, se percataron de la flexibilidad que brinda un programa de computadora ya que pueden ser modificables cuando el sistema de control cambia, además que esta nueva herramienta permitía más funciones lógicas que las que permite un control lógico cableado.

Fue hacia la década de 1980 que empezaron a emerger los primeros PLC, cuando los microprocesadores empezaron a contar con pequeñas memorias y características de entradas flexibles, definiendo al PLC de la siguiente manera [5].

Balcells [6] define a los PLC como equipos electrónicos de control que contienen terminales de entradas (a las que se les conectan sensores para supervisar y medir el sistema) y salidas a las que se les conectan actuadores que realizarán el trabajo. Pueden conectarse a señales de campo; es decir que puede trabajar con corrientes y voltajes de tipo industrial y son programables por el usuario. Para Bolton [7] son un equipo electrónico digital de control, con memoria interna que se puede programar para controlar procesos secuenciales de un sistema en tiempo real

mediante instrucciones, ya que contienen funciones lógicas como secuenciación, control de tiempos, contadores y aritmética.

Son flexibles, ya que un proceso puede ser modificado sin la necesidad de desconectar los equipos. Solo basta con que el operador ingrese una nueva serie de instrucciones al PLC para modificar el proceso. Esto los hace económicos ya que pueden ser usados para supervisar, controlar o automatizar procesos industriales, desde una máquina hasta una planta industrial compleja.

Los PLC se constituyen, según Balcells [6] y Bolton [7] de:

- Unidad central de proceso.  
Consulta el estado de las señales de entrada, y recoge de la memoria del programa las instrucciones que se deben seguir. Con esa información elabora las órdenes que se enviarán al proceso. Además, se encarga de actualizar los contadores y temporizadores del programa.
- Memoria interna.  
Se encarga de almacenar los datos de cálculo y las variables internas que no aparecen directamente en las salidas.
- Memorias de programa.  
Contiene la secuencia que se debe hacer sobre las señales de entrada para obtener las salidas.
- Interfaz de entradas y salidas.  
Es aquí donde el módulo de entradas recibe las señales de los diversos sensores que miden las condiciones del sistema y se tiene la salida para los actuadores del sistema
- Fuente de poder.  
Proporciona el voltaje necesario para que funcionen los circuitos electrónicos a partir de un voltaje exterior.
- Dispositivo de programación.  
Es la interfaz que tiene el PLC con el operario. Aquí se pueden modificar los programas, verificarlos y dar un seguimiento al proceso.

## Capítulo 2. Elaboración de la propuesta.

### 2.1 Definición del proceso.

El modelo de esta tesis simula uno de los procesos más comunes en las industrias que consiste en separar productos de acuerdo a determinada característica. Algunas aplicaciones reales de este tipo de procesos son el propuesto por Liming y Yanchao [8] para separar y clasificar fresas dependiendo de su forma, tamaño y color; o el de ElMasry et al. [9] para separar papas. En este caso, el modelo separa esferas dependiendo del color.

El proceso se describe a continuación en términos generales. Parte de la definición de necesidades de productos (llenado de canastas con esferas de colores específicos) y a partir de ahí el modelo trabaja de la siguiente manera:

Objetivo del proceso: Llenado de canastas con esferas de color, ya sean negras, blancas o una combinación de ambas.

Al principio se tienen esferas blancas y negras mezcladas en un depósito (Figura 2.1), las esferas son separadas por color y son enviadas a dispensadores (Figura 2.2); un dispensador para esferas blancas y otro para esferas negras.

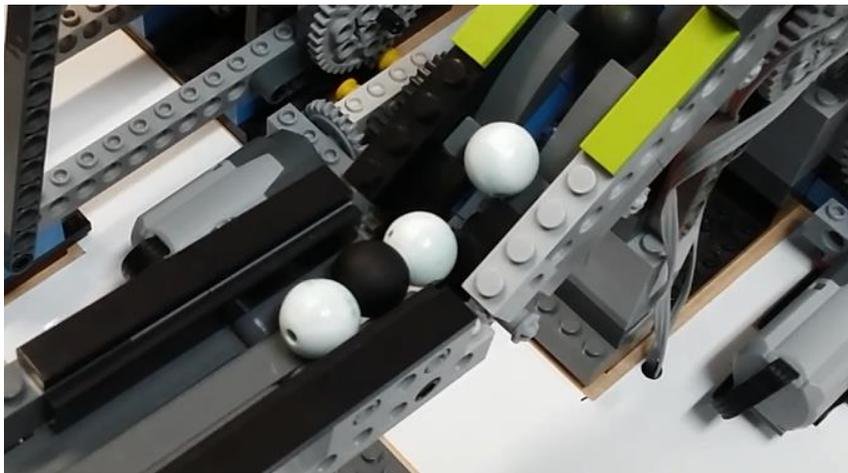
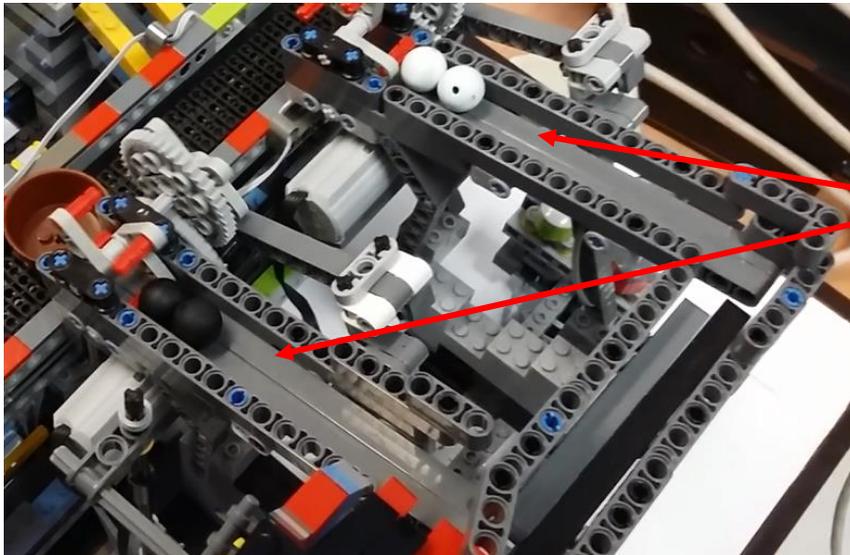


Figura 2. 1. Depósito de esferas blancas y negras.



**Dispensadores**

Figura 2. 2. Esferas blancas y negras separadas en dispensadores.

Bajo los dispensadores se encuentra una banda transportadora que se encarga de llevar canastas vacías, las cuales son colocadas manualmente por el usuario al inicio de la banda transportadora.

Ya colocadas las canastas, inicia su llenado por medio de los dispensadores (Figura 2.3) dependiendo de las esferas con las que se requieran llenar (máximo 3).

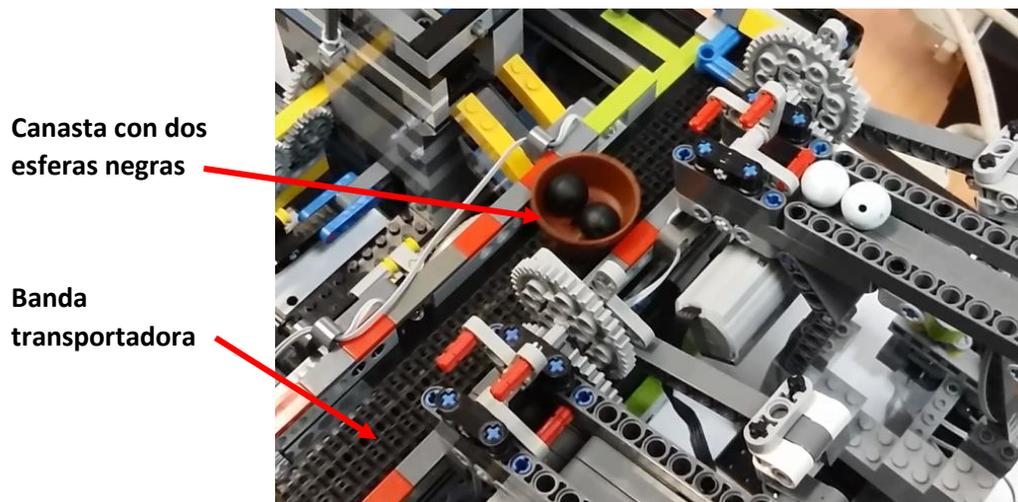


Figura 2. 3. Llenado de canasta sobre banda transportadora.

Una vez que la canasta está llena con las esferas requeridas se procede a su vaciado, esta parte del proceso se encarga de regresar las esferas de color al depósito inicial y las canastas vacías a una segunda banda transportadora para ser utilizadas nuevamente. En la figura 2.4. Se muestra el flujo del proceso.

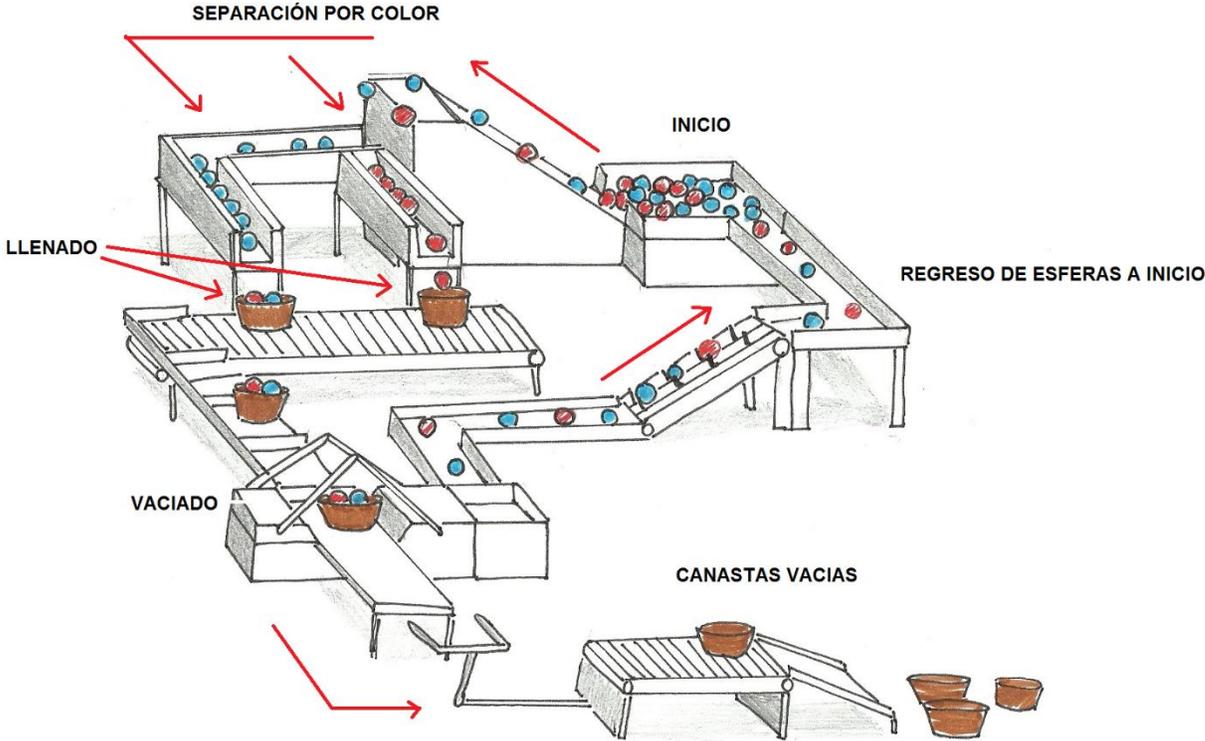


Figura 2. 4. Proceso.

A continuación se describen las partes que comprende el proceso.

(A) Depósito de inicio donde se tienen mezcladas esferas de dos colores diferentes. Figura 2.5

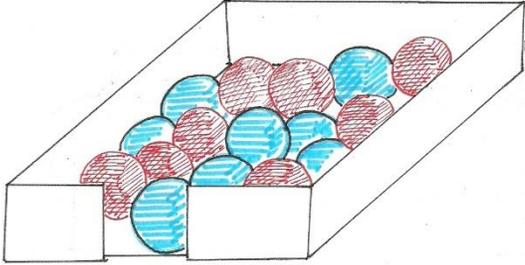


Figura 2. 5. Depósito de inicio.

(B) Dispensadores para las esferas dependiendo de su color. Figura 2.6

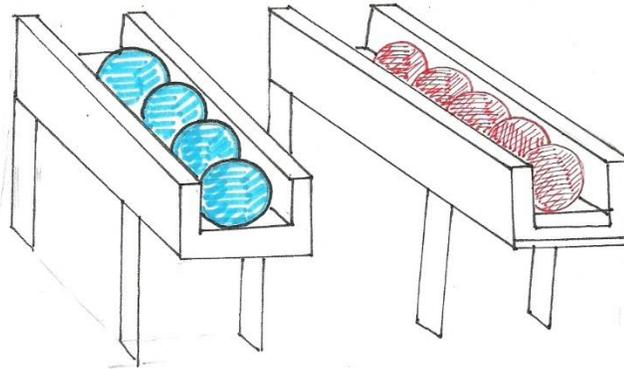


Figura 2. 6. Dispensadores.

(C) Banda transportadora colocada bajo los dispensadores por donde se trasladan canastas. Figura 2.7.

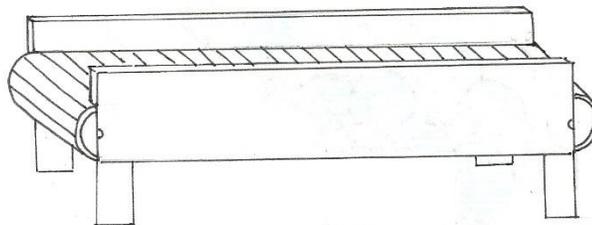


Figura 2. 7. Banda transportadora.

(D) Canastas que serán llenadas con una, dos o tres esferas (capacidad máxima de la canasta) de un solo color o mezcladas según se decida en el proceso. Figura 2.8.



Figura 2. 8.Canasta.

Al final de la banda transportadora (C) y ya con la canasta llena se encuentra el sistema de vaciado que consta de tres partes:

(E) se encarga de llevar las canastas una a una sobre una superficie de faja hacia la segunda parte. Figura 2.9.

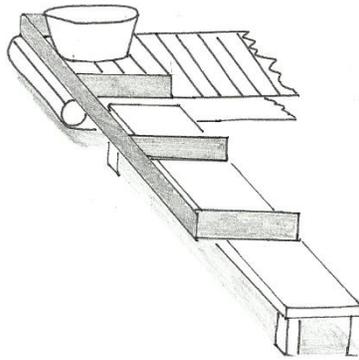


Figura 2. 9. Primera parte de vaciado.

(F) El mecanismo se encargará de sostener las canastas para su vaciado y de esta manera las esferas regresan al inicio del proceso (A) Figura 2.10.

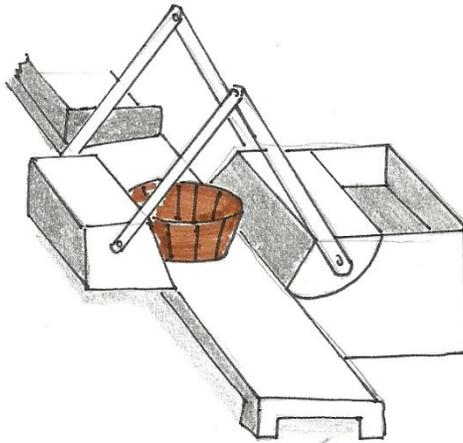


Figura 2. 10. Segunda parte de vaciado.

Una vez vacías las canastas, se regresan a la superficie fija y se empujan a la tercera parte (G).

- (G) Una pinza tomará las canastas y las trasladará a una segunda banda transportadora que las depositará en un contenedor de canastas. Figura 2.11.
- (H) Segunda banda transportadora. (Figura 2.12), se encarga de llevar las canastas vacías.
- (I) Llegan las esferas del mecanismo de vaciado (F) y las regresa al inicio (A). Figura 2.13.

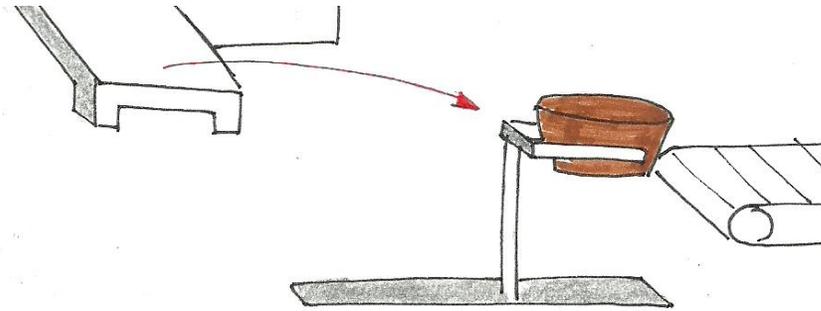


Figura 2. 11. Tercera parte de vaciado.

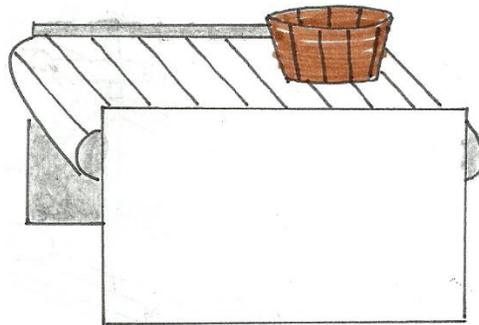


Figura 2. 12. Segunda banda transportadora.

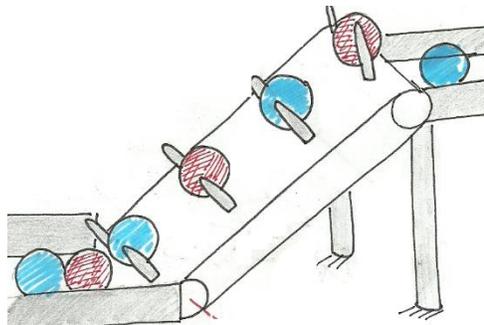


Figura 2. 13. Regreso de esferas a inicio.

En la figura 2.14. Se muestran las partes mencionadas en una vista del modelo propuesto.

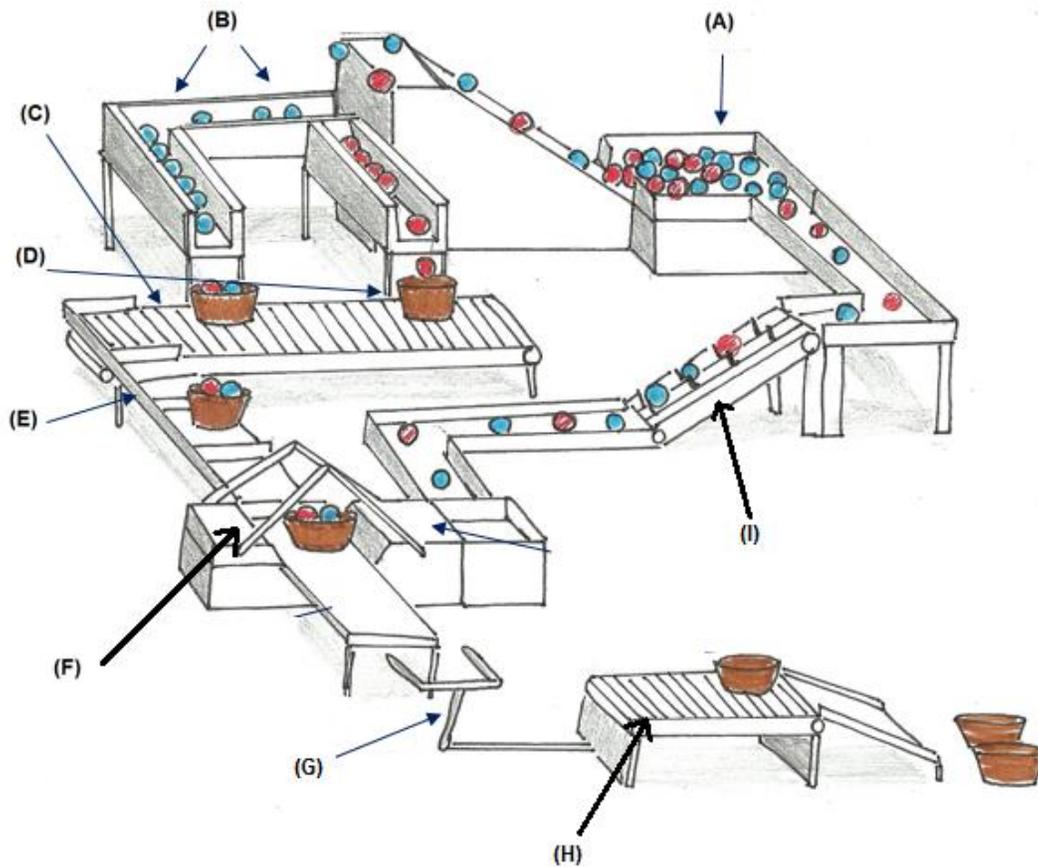


Figura 2. 14. Plano de modelo propuesto.

## 2.2 Mecanismos.

El modelo se constituye de 9 mecanismos:

1. Mecanismo levadizo.
2. Mecanismo separador.
3. Mecanismo de dispensadores.
4. Primera banda transportadora.
5. Primer mecanismo retira canastas.
6. Mecanismo de vaciado.
7. Segundo mecanismo retira canastas.
8. Segunda banda transportadora.
9. Mecanismo de regreso.

En la figura 2.15. Se muestra la ubicación de cada uno de los mecanismos en el modelo propuesto.

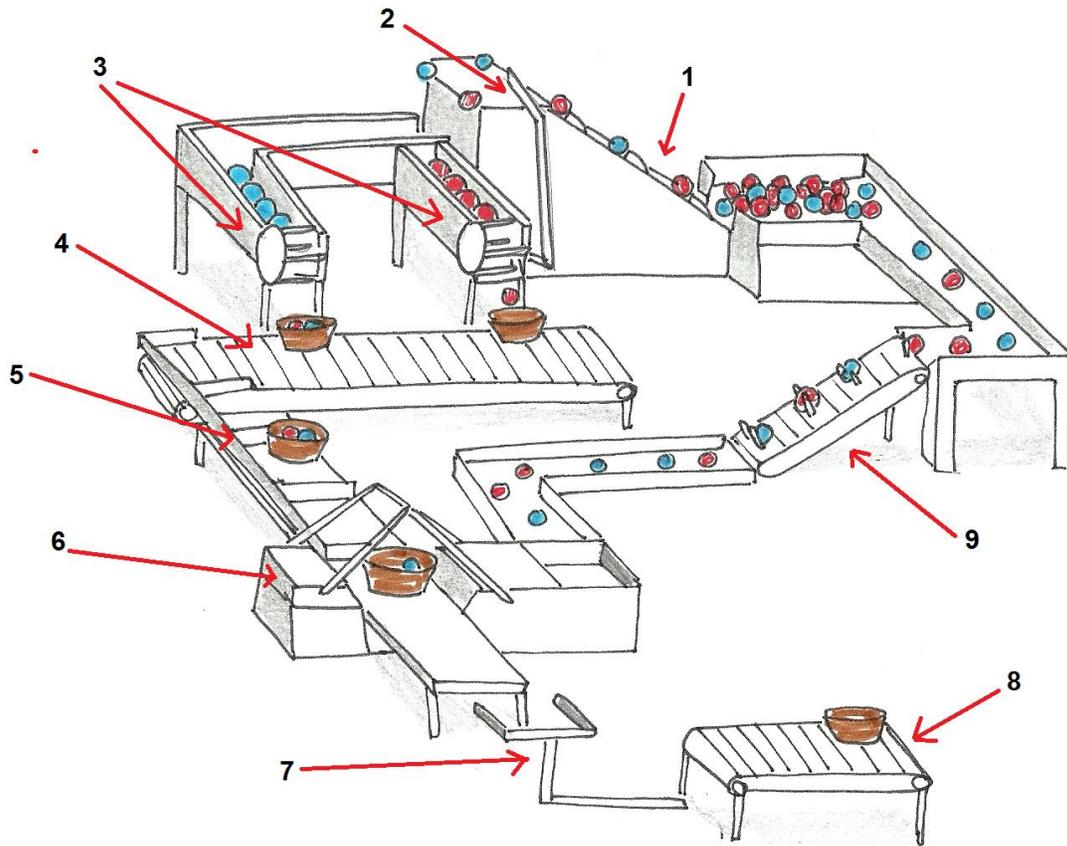


Figura 2. 15.Ubicación de mecanismos en el modelo.

### 2.3 Descripción de los mecanismos.

#### 1. Mecanismo Levadizo.

Su objetivo es el de hacer llegar las esferas del inicio del proceso (A) a los dispensadores (B).

Las partes principales de este mecanismo son las siguientes:

- Paletas.
- Escalones.

Las esferas provenientes del depósito de inicio (A) se depositarán en los escalones del mecanismo levadizo; por cada escalón solo puede haber una esfera.

Las paletas trasladan cada una de las esferas al siguiente escalón hasta llegar a la posición del mecanismo separador.

Las paletas son controladas por un actuador que se mueve en intervalos de tiempo. Estos intervalos son necesarios para que, al llegar las esferas al sensor, el mecanismo separador tenga el tiempo necesario de hacer su trabajo, el cual consiste en separar las esferas por color.

A continuación, se muestran los pasos que componen el movimiento del mecanismo levadizo:

- a) Las paletas dan giros continuos de  $360^\circ$  y las esferas se mantienen estáticas mediante escalones.
- b) Las paletas al girar transportan las esferas al siguiente escalón superior.
- c) Las esferas se encuentran en su nuevo escalón, las paletas continúan girando y se repite el proceso.

En la figura 2.16. Se muestra el funcionamiento del mecanismo levadizo.

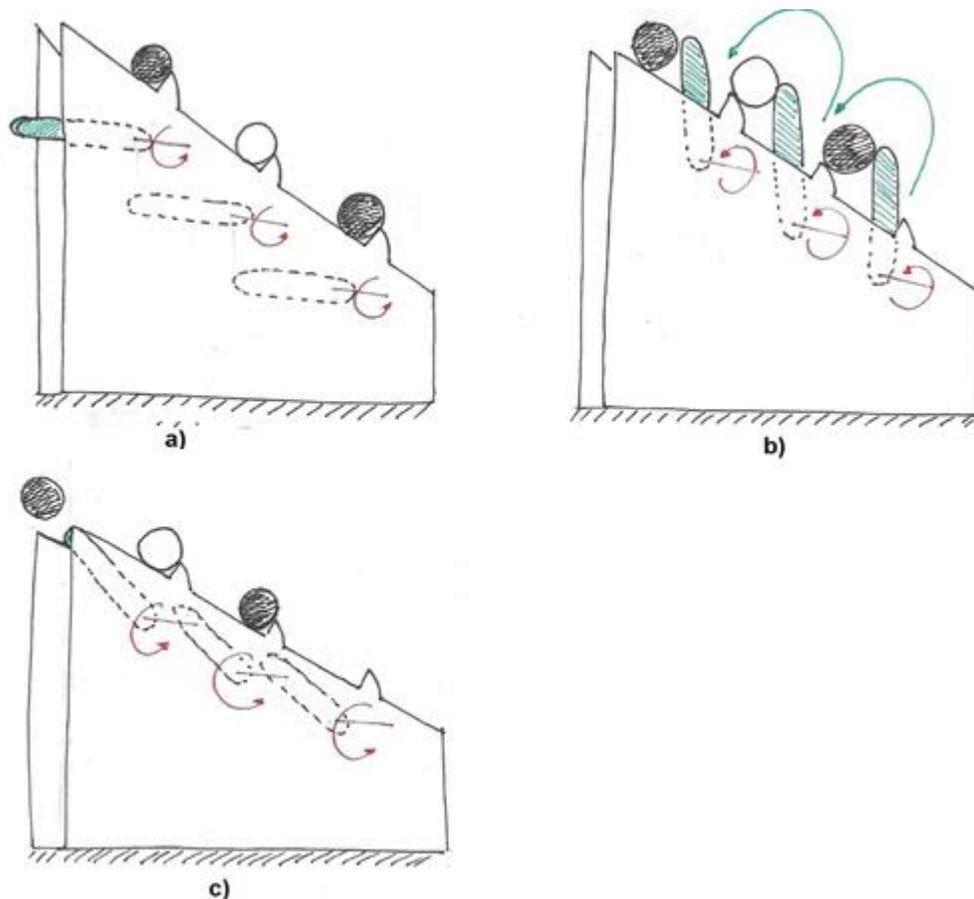


Figura 2. 16. Ilustración del mecanismo levadizo.

## 2. Mecanismo separador.

Su objetivo es empujar las esferas de diferente color de un carril a otro para que se separen.

Al empujar las esferas del color 1 se irán hacia el dispensador 1 y al dejar pasar las esferas del color 2 se irán al dispensador 2.

Se propuso con el principio de una biela-manivela, para así empujar las esferas de un carril a otro.

En la figura 2.17. Se muestra el mecanismo separador de biela-manivela propuesto.

- La esfera se encuentra en el carril 1, al actuar la biela-manivela empuja la esfera al carril 2
- La esfera se cambió del carril 1 hacia el carril 2 por efecto de la biela-manivela

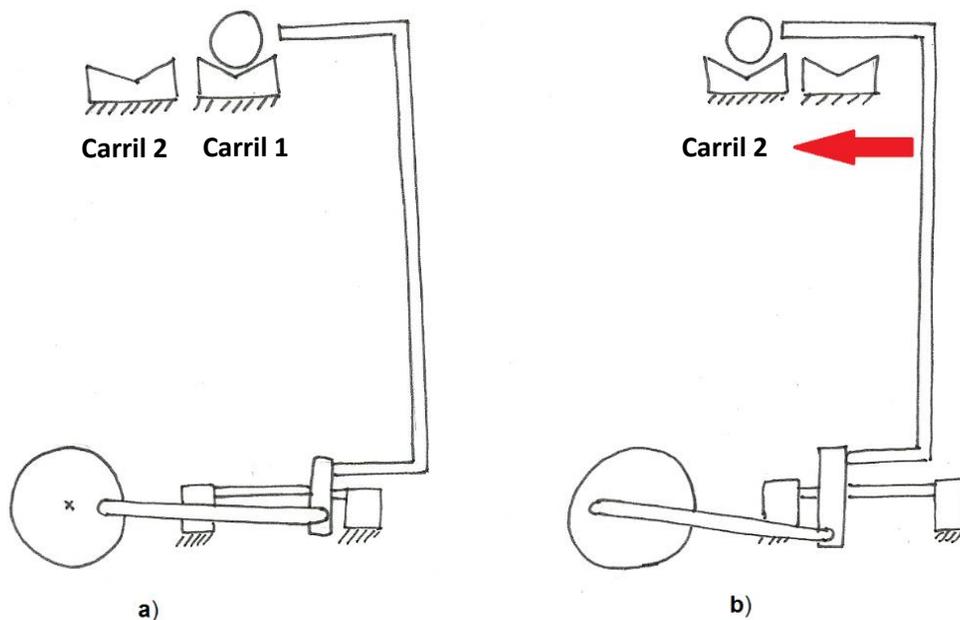


Figura 2. 17. Mecanismo separador propuesto.

## 3. Mecanismo de dispensadores.

Este mecanismo forma parte de los dispensadores, se encuentran al final de ellos y se encarga de dosificar las esferas en las canastas.

Se tomó la idea del funcionamiento de una puerta giratoria horizontal, ya que se tiene control sobre cuánto gira la puerta, por lo tanto, se tiene el control sobre la salida.

Este mecanismo funciona de la siguiente manera (Figura 2.18.): se hace girar un disco de cuatro barras que detienen las esferas, al girar el disco, las barras dejan pasar una esfera a la vez, así se tiene control sobre su dosificación.

- a) La barra impide el paso de las esferas.
- b) Al girar el disco, las barras dejan pasar una esfera a la vez permitiendo control de salida de esferas.

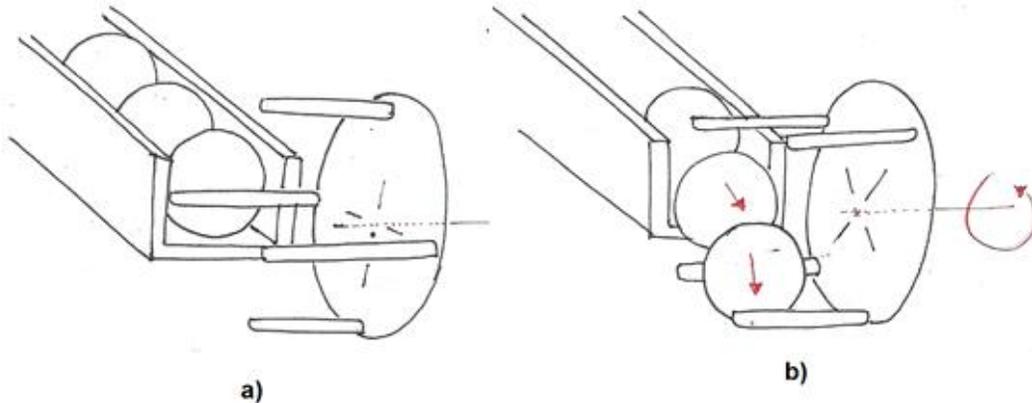


Figura 2. 18. Mecanismo de dispensadores.

#### 4. Primera banda transportadora.

Se encarga de transportar canastas para su llenado por los dispensadores. Una vez que las canastas están llenas, la banda transportadora las lleva al mecanismo retira canastas 1. En la figura 2.19. se muestra cómo funciona.

A continuación se mencionan los pasos que realiza la banda transportadora.

- a) Banda transportadora con canasta al inicio.
- b) Canasta avanza debido al accionamiento de la banda transportadora.

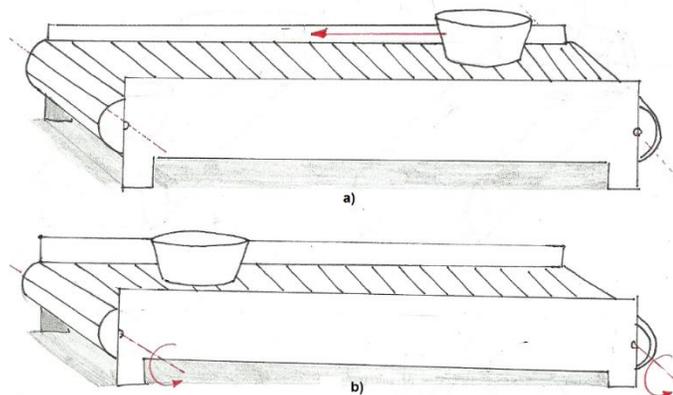


Figura 2. 19. Banda transportadora.

## 5. Primer Mecanismo retira canastas.

Este mecanismo se encuentra al final de la banda transportadora.

Se encarga de retirar canastas llenas de la banda transportadora y mediante movimientos adelante-atrás y derecha-izquierda las coloca en una superficie plana y fija.

El funcionamiento del primer mecanismo que retira las canastas es el siguiente:

- La banda transportadora deposita la canasta llena en el primer compartimento y mueve la canasta a la derecha hacia una superficie fija.
- Una vez que la canasta está en una superficie fija, el mecanismo se mueve hacia atrás.
- El mecanismo se mueve hacia la izquierda.
- El mecanismo se mueve hacia adelante, el segundo compartimento se alinea con la posición de la canasta.
- La canasta se encuentra ahora en el segundo compartimento y arrastra la canasta a la derecha.
- Finalmente se mueve hacia atrás y se repite el proceso.

En la figura 2.20. Se da una vista aérea y se muestran los pasos.

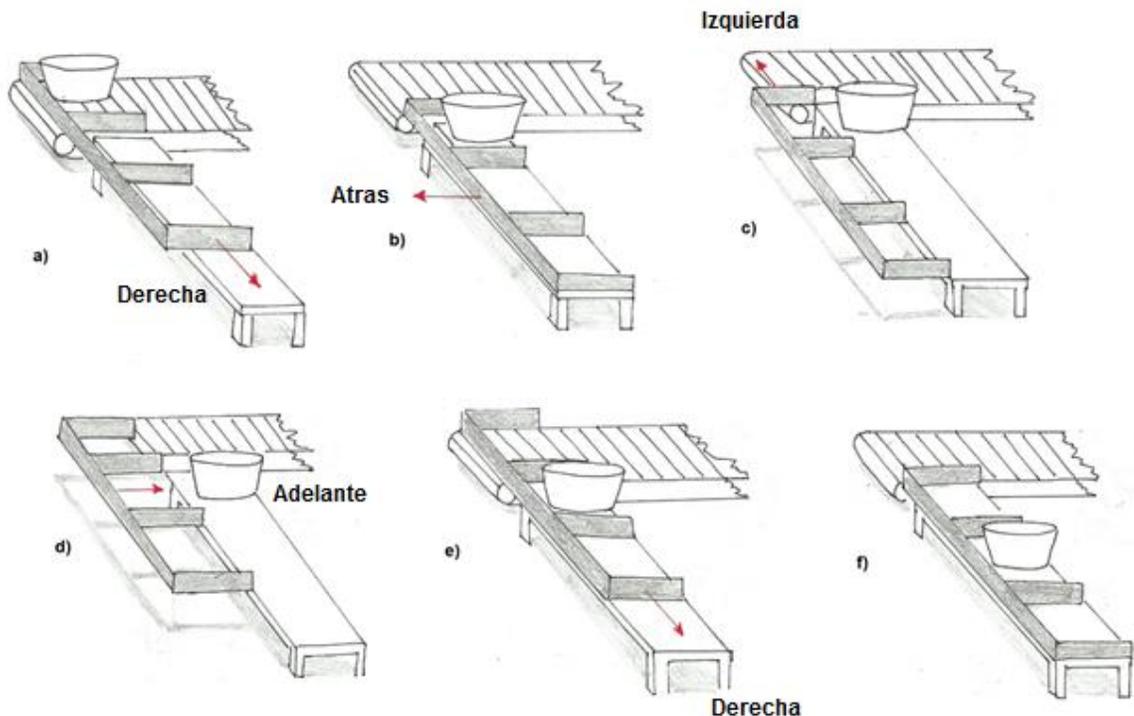


Figura 2. 20. Secuencia de movimientos que sigue el mecanismo.

Como se puede observar en la figura 2.20, el mecanismo sigue el patrón de movimientos cíclicos siguiente:

1. Derecha.
2. Atrás.
3. Izquierda.
4. Adelante.

Para que el mecanismo hiciera esta serie de movimientos se necesitó de dos palancas que los controlaran.

Los compartimentos serán representados de la siguiente manera para describir el movimiento de las palancas. Figura 2.21.

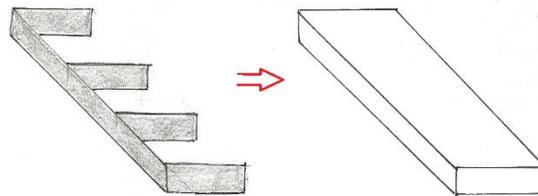


Figura 2. 21. Representación del mecanismo.

Cada palanca tiene un grado de libertad, una se encarga de los movimientos adelante-atrás y la otra se encarga de hacer los movimientos izquierda-derecha.

Para seguir el patrón de movimiento, se debe seguir la siguiente secuencia: Figura 2.22.

- a) Se empuja la palanca "A", el mecanismo va hacia atrás.
- b) Al accionar la palanca "B" hacia la derecha, el mecanismo va hacia la izquierda.
- c) El mecanismo va hacia adelante cuando la palanca "A" se jala.
- d) Al accionar nuevamente la palanca "B" hacia la izquierda el mecanismo va hacia la derecha.

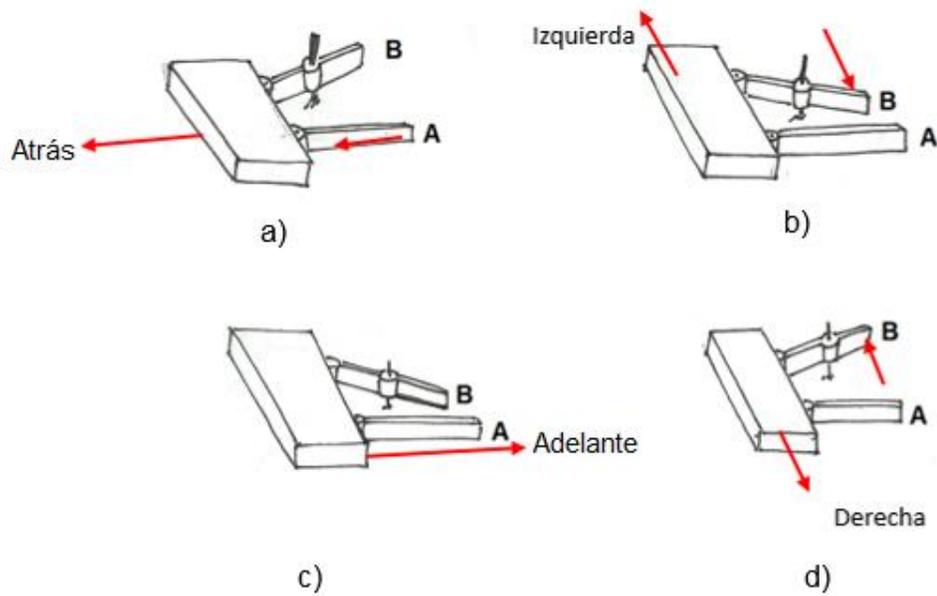


Figura 2. 22. Movimiento del mecanismo.

El mecanismo de la Palanca A está diseñado para moverse sobre el eje X.

El mecanismo de la Palanca B está diseñado para moverse sobre el eje Y.

Se propusieron rieles sobre los que se deslizan los compartimentos del mecanismo retira canastas. Como se muestra a continuación en la figura 2.23.

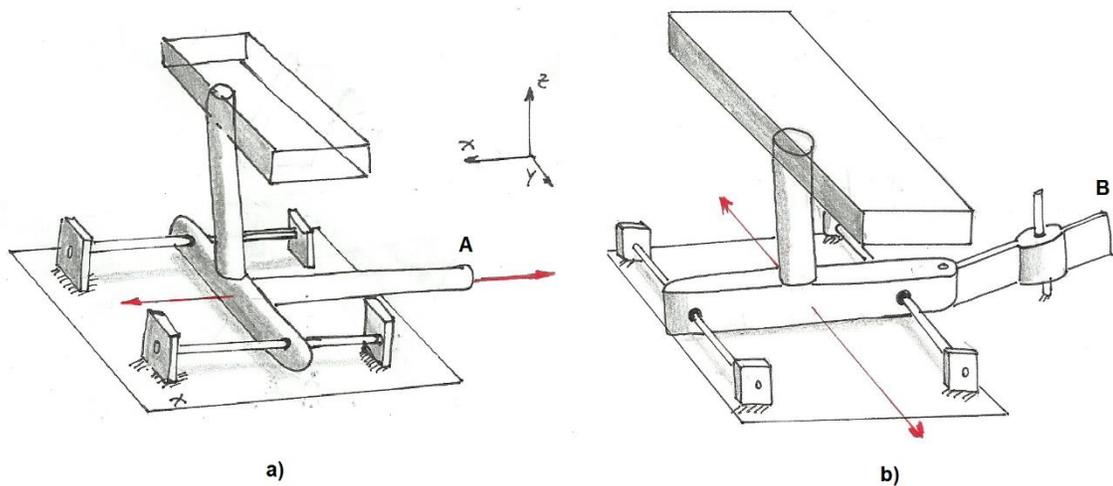


Figura 2. 23. Funcionamiento de rieles. a) Se aprecia la palanca A, se mueve sobre el eje X (adelante-atrás). b) La palanca B, se mueve sobre el eje Y (izquierda-derecha).

Teniendo los mecanismos de las dos palancas se propuso juntarlos en un solo sistema. Figura 2.24.

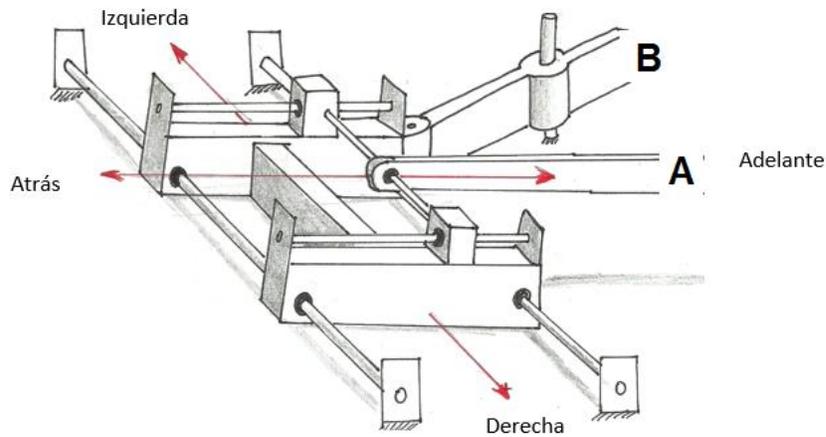


Figura 2. 24. Mecanismo de las dos palancas en uno mismo.

## 6. Mecanismo de vaciado.

Se encuentra a un lado de la superficie fija, su objetivo es el de sujetar las canastas llenas de esferas de la superficie fija, vaciarlas y posteriormente regresarlas a la superficie fija.

Su funcionamiento se describe a continuación:

- La canasta es colocada entre los bloques por medio del primer mecanismo retira canastas.
- Cuando la canasta se encuentra entre los bloques, estos se cierran sujetando la canasta.
- Ya con la canasta sujeta, los bloques son subidos a 90° y se vacía la canasta.
- Una vez vacía, los bloques regresan a su posición inicial, y se separan dejando la canasta libre en la superficie fija.

En la figura 2.25. Se muestra el funcionamiento de este mecanismo de vaciado.

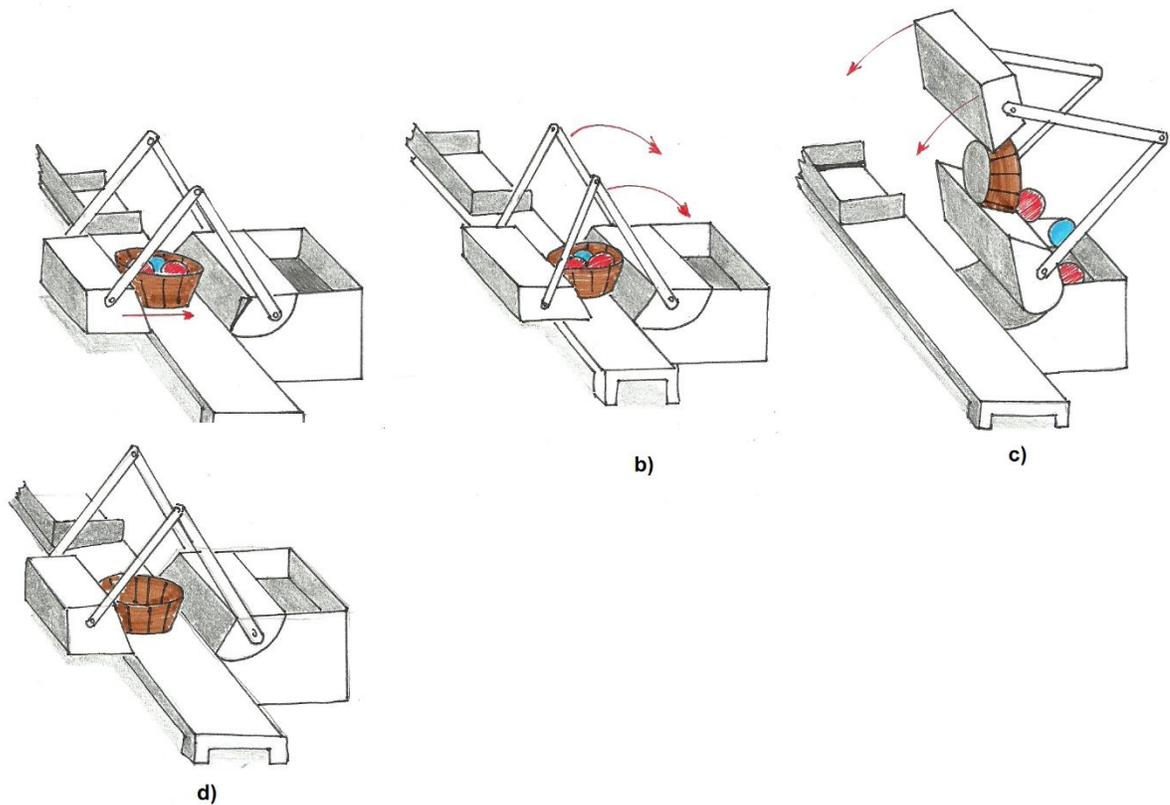


Figura 2. 25. Mecanismo de vaciado.

Una vez que la canasta vacía está nuevamente en la superficie fija, el primer mecanismo retira canastas sigue empujando la canasta, ahora vacía, hacia el segundo mecanismo retira canastas.

### 7. Segundo Mecanismo retira canastas.

Este mecanismo se encuentra al final de la superficie fija, se encarga de tomar las canastas vacías y colocarlas en la segunda banda transportadora.

El funcionamiento de este mecanismo es el siguiente (Figura 2.26):

- La canasta vacía es colocada en la superficie fija por el mecanismo de vaciado.
- El primer mecanismo retira canastas empuja la canasta vacía hasta la orilla de la superficie fija, mientras deja una canasta llena en el mecanismo de vaciado.
- La pinza que sostiene las canastas recibe la canasta vacía y la traslada a la segunda banda transportadora.
- La pinza regresa al final de la superficie fija para recibir la siguiente canasta vacía.

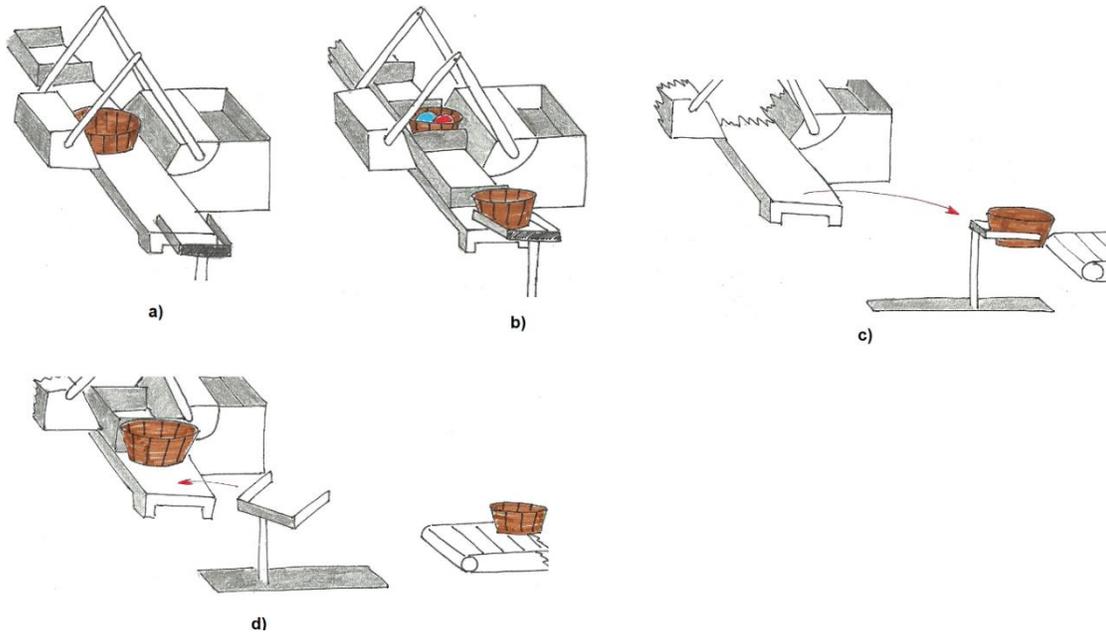


Figura 2. 26. Segundo mecanismo retira canastas.

Este mecanismo cuenta con tres tipos de movimiento para lograr su objetivo (Figura 2.27):

- a) Desplazamiento de pinza.
- b) Giro horario y anti-horario de 90° de pinza sobre el mismo plano.
- c) Ascenso y descenso de pinza.

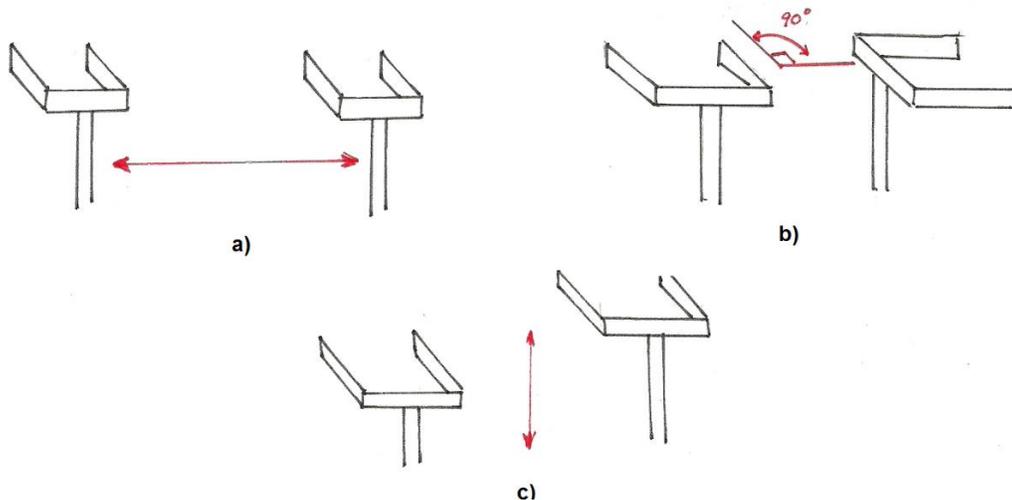


Figura 2. 27. Tres tipos de movimientos de la pinza del segundo mecanismo retira- canastas.

A continuación, se describe el funcionamiento de cada uno de los tres movimientos:

### 1. Desplazamiento de pinza.

En la figura 2.28 se pueden observar los pasos de este movimiento:

- La pinza se encuentra al inicio del recorrido de los rieles.
- A medida que la palanca gira en sentido horario la pinza comienza a avanzar.
- La palanca completó  $180^\circ$  en sentido horario, provocando que la pinza llegue al final del recorrido de los rieles.
- La palanca gira  $180^\circ$  sentido anti-horario para el regreso de la pinza.

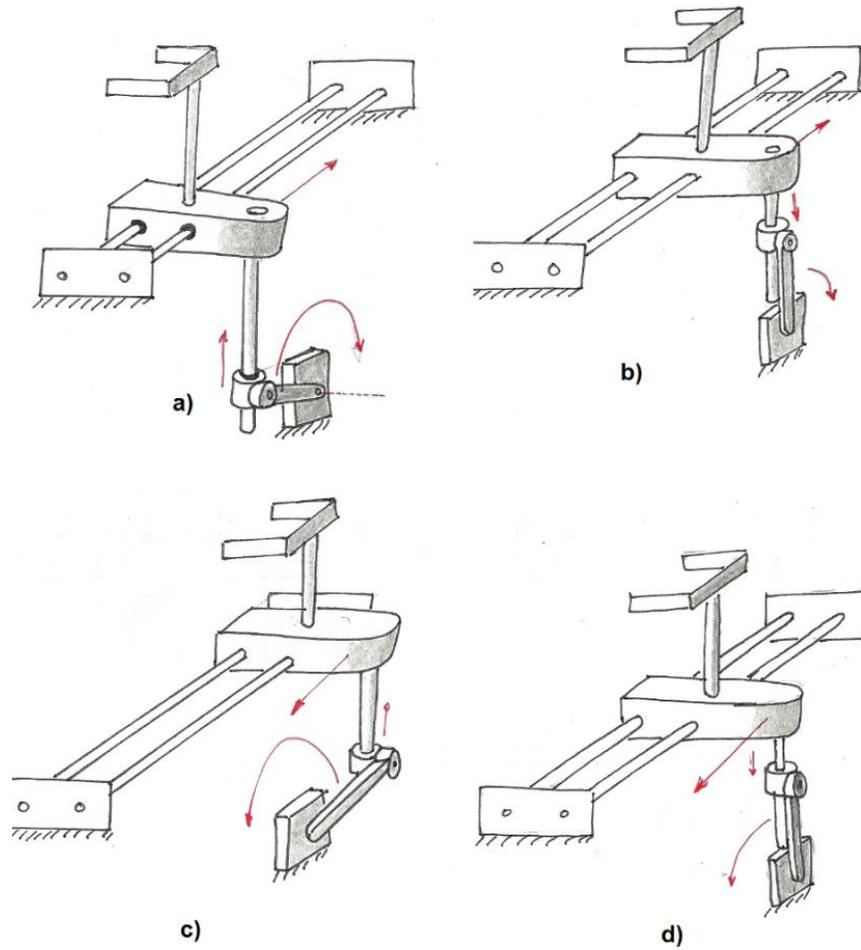


Figura 2. 28. Avance y regreso de la pinza.

## 2. Giro horario y anti-horario de 90° de pinza sobre el mismo plano.

En la figura 2.29 se describe el funcionamiento de este movimiento:

- La pinza avanza, la "L" inferior golpea el cilindro.
- El cilindro permanece inmóvil mientras la "L" inferior lo rodea haciendo girar la pinza 90° en sentido horario.
- La pinza ahora se encuentra girada 90° en su avance.
- Al regresar la pinza, la "L" golpea nuevamente el cilindro, haciéndola girar 90° anti-horarios.

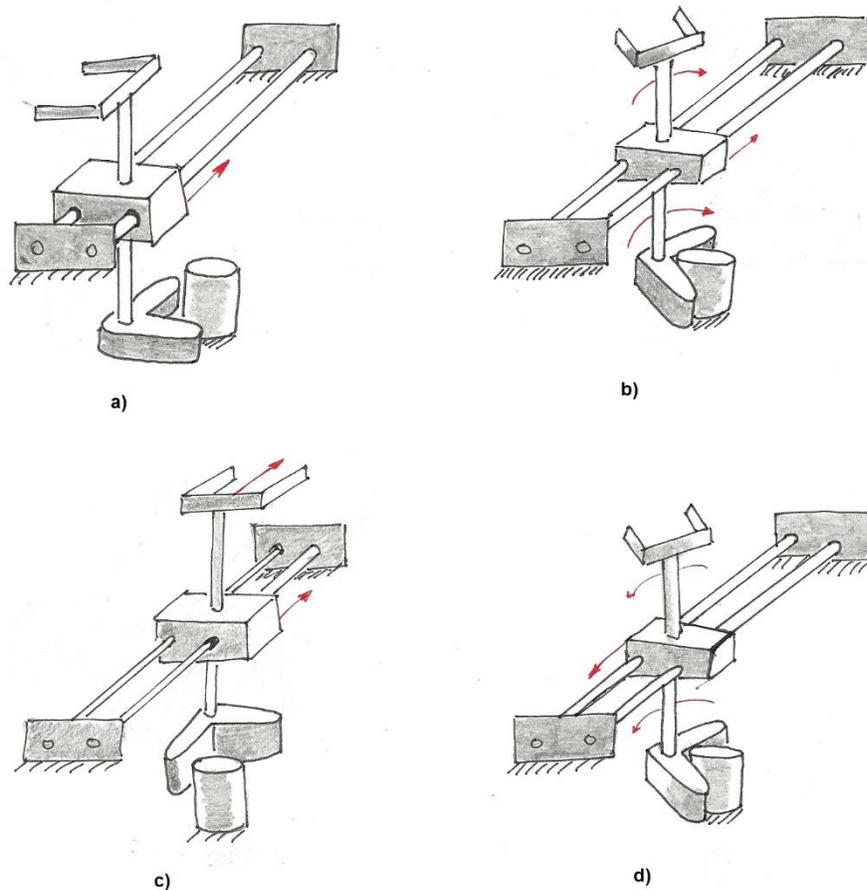


Figura 2. 29. Giro horario y anti-horario de 90° de pinza sobre el mismo plano.

### 3. Elevación de pinza.

En la figura 2.30 se describe el funcionamiento de este movimiento:

- a) La pinza se encuentra en reposo.
- b) La pinza se eleva cuando se le aplica fuerza a la palanca.

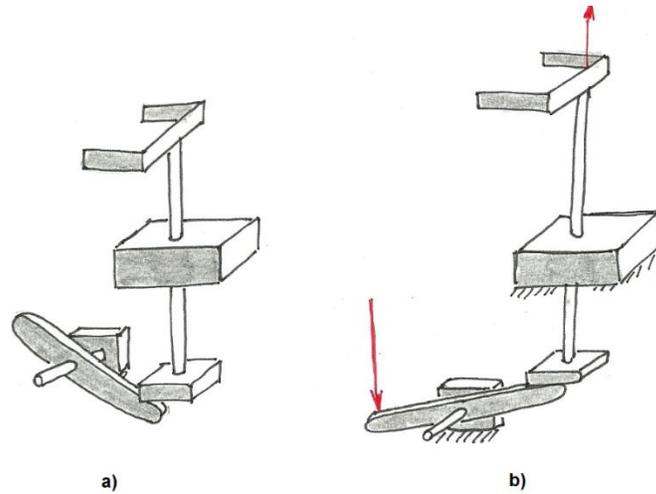


Figura 2. 30. Movimiento de elevación de pinza.

Combinando los tres movimientos se logra el objetivo de este mecanismo. Para hacer más eficiente el mecanismo se juntaron en un mismo sistema como se muestra en la figura 2.31.

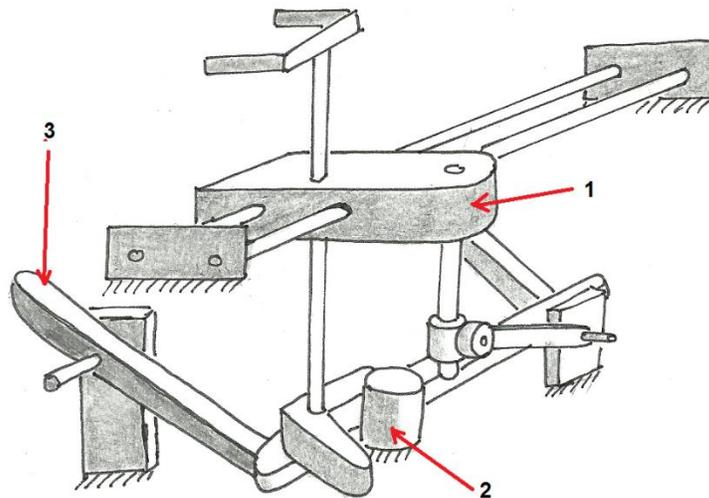


Figura 2. 31. Mecanismo conformado con los tres movimientos en el mismo sistema.

## 8. Segunda Banda transportadora.

A diferencia de la primera banda transportadora, ésta no tiene la función de detenerse en posiciones precisas, su objetivo es únicamente recibir las canastas entregadas por el segundo mecanismo retira canastas y trasladar las canastas vacías.

El principio es el mismo de la primera banda transportadora y se ilustra en la figura 2.32.

- El segundo mecanismo retira canastas deja la canasta vacía en la segunda banda transportadora.
- La canasta avanza por el accionamiento de la segunda banda transportadora.

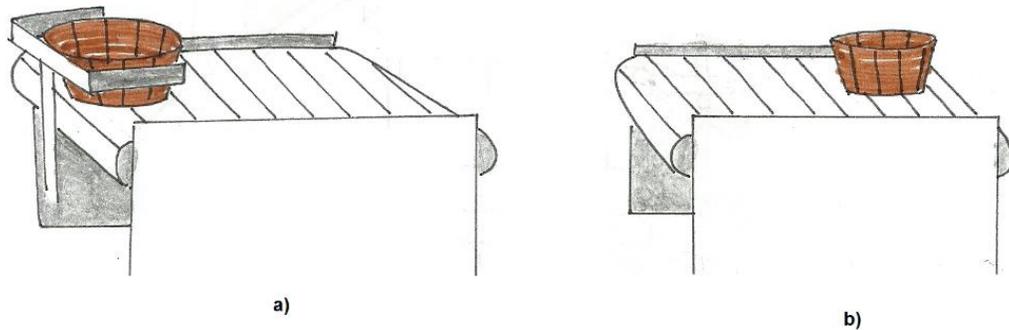


Figura 2. 32. Segunda banda transportadora.

## 9. Mecanismo de regreso.

Este mecanismo se encarga de regresar las esferas al inicio del modelo, es decir al contenedor del mecanismo levadizo. Se encuentra entre el mecanismo de vaciado y el mecanismo levadizo.

Su funcionamiento es similar a una banda transportadora con la diferencia de que se encuentra a 45° como se muestra en la figura 2.33

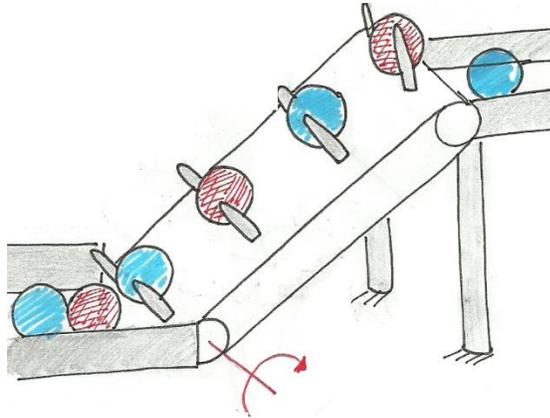


Figura 2. 33. Mecanismo de regreso.

## 2.4 Selección de sensores.

En el modelo se propusieron cuatro tipos de sensores diferentes para controlar el modelo: dos tipos de sensores de salida analógica y dos de salida discreta

Sensores de salida analógica:

- a) Sensor fotoeléctrico de reflexión difusa.
- b) Sensor ultrasónico.

Sensores de salida discreta:

- a) Microinterruptores.
- b) Sensor fotoeléctrico de barrera.

### **Sensor fotoeléctrico de reflexión difusa.**

Se encarga de la detección del color de las esferas que pasan frente a él. Se ubica en la parte superior del mecanismo levadizo.

Se seleccionó un LilyPad Light Sensor con salida analógica de 0 a 5 Volts. Si este sensor no detecta luz la salida es de 0V, en el caso contrario, a la exposición de directa, el sensor dará una salida de 5 Volts. En condiciones de luz normal el sensor dará una salida de 1 a 2 V.

Se alimenta con 5V, en la figura 2.34 se muestra el sensor LilyPad Light Sensor utilizado.



Figura 2. 34. LilyPad Light Sensor.

Este sensor funciona como un sensor fotoeléctrico de reflexión difusa pero no cuenta con un emisor de luz. Por ello se le adaptó un LED de luz blanca como se muestra en la figura 2.35.

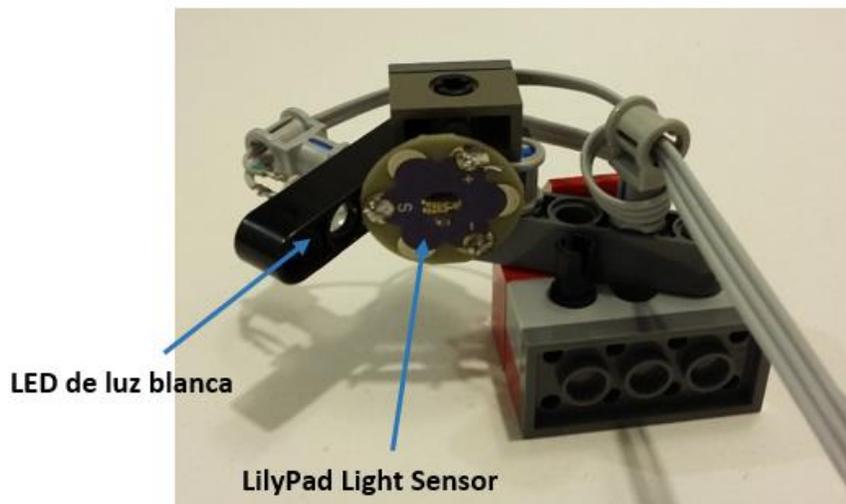


Figura 2. 35. Sensor LilyPad con adaptación de LED.

### **Sensor Ultrasónico.**

Este sensor se encuentra al inicio de la primera banda transportadora, se encarga de controlar y monitorear la posición a la que se encuentra una canasta respecto al sensor sobre la banda.

La posición de la canasta es muy importante ya que tiene que alinearse exactamente con cada uno de los dispensadores para que las esferas que estos proveen, caigan únicamente en el interior de la canasta.

La manera en la que este sensor da información de la posición de la canasta es por medio de un valor de voltaje a la salida de su terminal analógica.

Se utilizó un sensor LV-MaxSonar®-EZ3™ como el que se muestra en la figura 2.36.

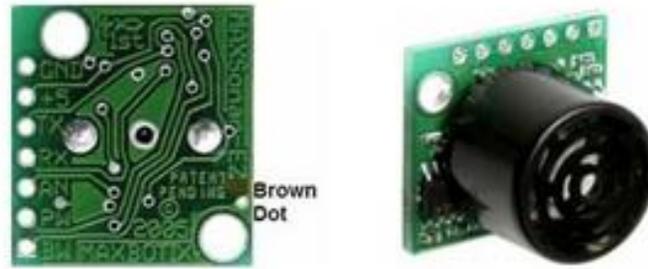


Figura 2. 36. Sensor ultrasónico LV-MaxSonar®-EZ3™.

Este sensor se alimenta desde 2.5V – 5V, puede detectar objetos desde 0 hasta 6.45 metros con 2.54 cm de resolución, tiene tres salidas: analógica, PWM y RS232, las lecturas las realiza cada 50 ms y opera a 42 kHz.

### **Microinterruptores.**

Estos sensores hacen la función de contadores debido a su forma de detección on-off. El modelo cuenta con 8 microinterruptores colocados en los siguientes mecanismos:

- Mecanismo separador.
- Mecanismo de los dispensadores (uno en cada uno).
- Primer mecanismo retira canastas.
- Mecanismo de vaciado.
- Segundo mecanismo retira canastas.
- Botón de inicio.
- Botón de paro.

El microinterruptor que se utilizó es el Micro Switch W rodillo de palanca como se muestra en la figura 2.37.



Figura 2. 37. Micro Switch W rodillo de palanca.

Este micro switch mide 1 centímetro de longitud, su rango de trabajo es de 0 V a 127V, tiene tres terminales, una es el común, la segunda es normalmente abierto y la tercera es normalmente cerrado.

### **Sensor fotoeléctrico de barrera**

Estos sensores se encuentran sobre la primera banda transportadora. Se encargan de detectar la canasta cuando ésta se alinea con los dispensadores.

El arreglo utilizado es el de un LED infrarrojo como emisor frente a un foto-transistor NPN TIL78 como receptor. Como se muestra en la figura 2.38.

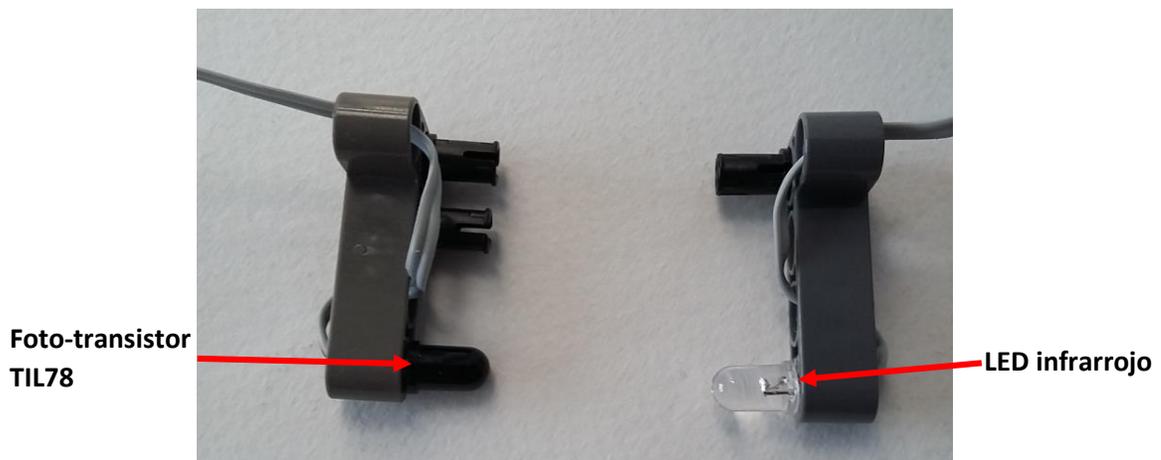


Figura 2. 38. Arreglo de sensor fotoeléctrico de barrera.

### **2.5 Selección de Actuadores.**

Se consideraron motores de LEGO® Power Functions (PF) medianos de corriente directa que funcionan con 9 Volts, 49 mA sin carga, 405 RPM (máxima velocidad) y un torque de 11 N\*cm, cada mecanismo contiene un motor, por lo tanto, existen 8 motores de corriente directa.

El motor que se encarga de mover la primera banda transportadora puede disminuir la velocidad o aumentarla, dependiendo del voltaje que se indique a la salida analógica del PLC.

Los motores seleccionados se muestran en la figura 2.39.



Figura 2. 39. Motor PF mediano.

También se propuso un motor LEGO® XL debido a su robustez, funciona con 9 Volts CC, 80 mA sin carga, 220 RPM (máxima velocidad) y un torque de 40 N \* cm, además tiene un mayor tamaño. Figura 2.40.



Figura 2. 40. Motor XL.

### Capítulo 3. Construcción del modelo.

#### 3.1 Construcción de mecanismos.

Para construir cada uno de los mecanismos que comprende el modelo se ocuparon piezas de la marca LEGO® debido a su versatilidad, ya que son fáciles de manejar y están diseñadas para trabajar entre sí.

Los mecanismos pueden ser modificados o ser retirados para su mantenimiento y ensamblarse nuevamente.

##### 1. Mecanismo levadizo.

Para la construcción de este mecanismo se tomaron en cuenta factores como la altura que debe tener, el número de paletas, el tiempo en que tarda una paleta en completar 360°, el tamaño y número de los engranes para la reducción de velocidad del motor, la distancia entre los dos carriles, la idea de este mecanismo se tomó del video de Akiyuki [10], y se adaptó a las necesidades del proceso.

Especificaciones.

Altura total del mecanismo	21 cm
Longitud total del mecanismo	19 cm
Número de engranes de 8 dientes	2
Número de engranes de 16 dientes	5
Número de engranes de 24 dientes	7
Número de engranes de 40 dientes	2
Longitud de paletas	31 mm
Número de paletas	6
Número de escalones	5
Motor PF mediano	Velocidad 405 RPM. Torque 11 N*cm
Consumo de corriente, motor sin carga	50.3 mA
Consumo de corriente, motor en trabajo	54.4 mA
Distancia entre carriles	25 mm
Número de sensores	1 sensor fotoeléctrico LilyPad Light Sensor

Tabla 3. 1. Especificaciones de mecanismo levadizo.

Al inicio, las esferas ascienden por el carril 1 desde el depósito donde se encuentran las esferas negras y blancas mezcladas.

Las esferas tienen que ascender de manera intermitente para que el sensor de color LilyPad Light Sensor realice el censado correcto de luz y el mecanismo separador tenga el tiempo necesario de cambiar las esferas diferentes al carril 2.

Al considerar el tiempo censado y el tiempo del separador en hacer el cambio de esfera del carril 1 al 2 se propuso que la velocidad de ascenso fuera 25 veces menor a las 405 RPM que entrega el motor.

Para calcular la reducción de velocidad según Landín [11] se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_m * N_m = Z_s * N_s \dots (1)$$

Donde:

Z<sub>m</sub>: Número de dientes del engrane motor.

N<sub>m</sub>: Velocidad del engrane motor.

Z<sub>s</sub>: Número de dientes del engrane de salida.

N<sub>s</sub>: Velocidad del engrane de salida.

Despejando la velocidad de salida de la ecuación (1) obtenemos la ecuación (2):

$$\frac{Z_m * N_m}{Z_s} = N_s \dots (2)$$

Debido a esto se construyó un reductor de velocidad con una relación de 1/5 en engranes paralelos, se utilizaron dos engranes de 8 dientes y dos engranes de 40 dientes (Figura 3.1) que al ser sustituidos en la ecuación (2) el arreglo reduce la velocidad del motor de 405 RPM a 16.2 RPM.



Figura 3. 1. Reductor de velocidad con engranes paralelos.

A la salida del reductor de velocidad, el engrane de 40 dientes hace contacto con uno de 24, aumentando la velocidad de 16.2 RPM a 24 RPM (Figura 3.2).

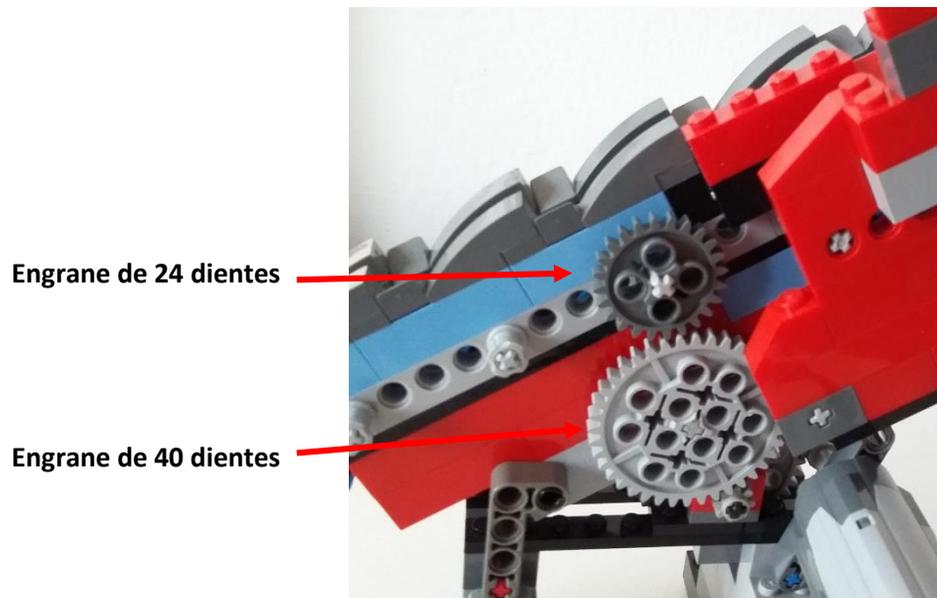


Figura 3. 2. Engrane de 40 dientes del reductor de velocidad haciendo contacto con engrane de 24 dientes.

Sobre la flecha del engrane de 24 dientes se encuentra una de las 6 paletas y en su extremo se encuentra otro engrane de 24 dientes (Figura 3.3).

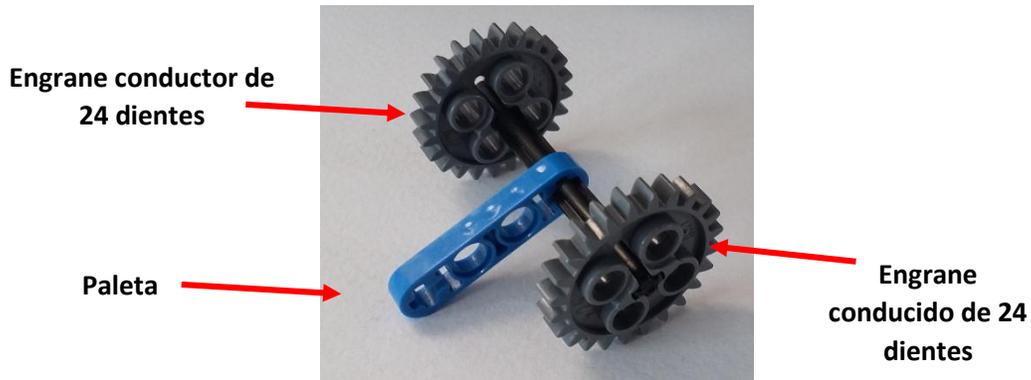


Figura 3. 3. Engranes de 24 dientes con paleta en su flecha.

A su vez el engrane conducido de 24 dientes funciona como conductor de un tren de engranes construido con 6 engranes de 24 dientes. Sobre la flecha de cada uno de estos se encuentra una paleta. Esta parte del modelo se complementa con 5 engranes de 20 dientes que se encargan de transmitir el movimiento entre los de 24 como se muestra en la figura 3.4.

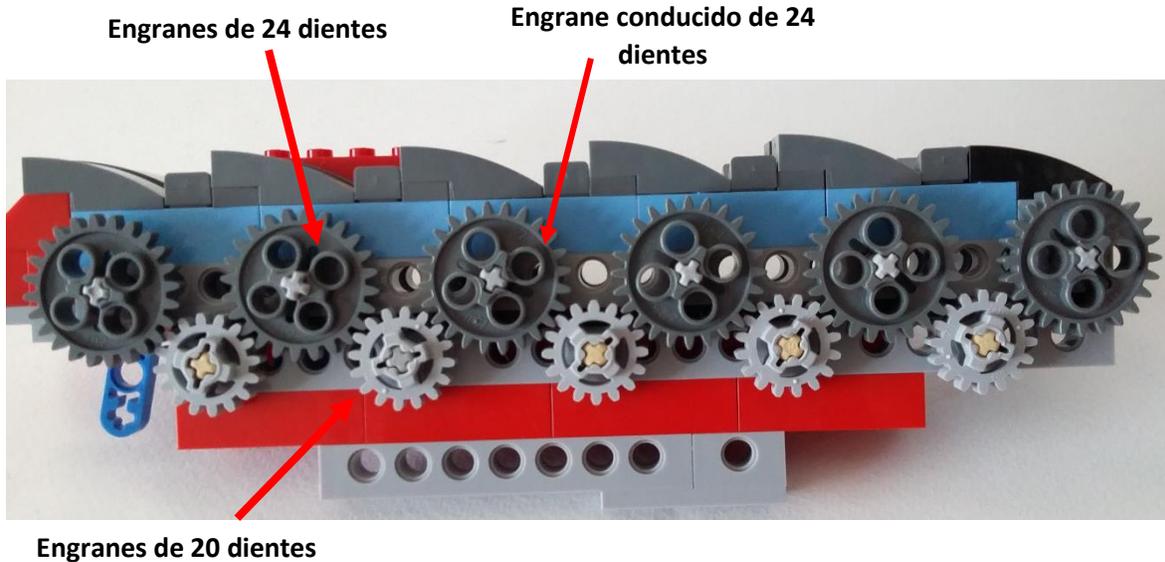


Figura 3. 4. Tren de engranes.

En la Figura 3.5 se muestra una vista superior del mecanismo levadizo. En ella se pueden observar las 6 paletas que empujan las esferas y los carriles hacia el dispensador 1 y el 2.

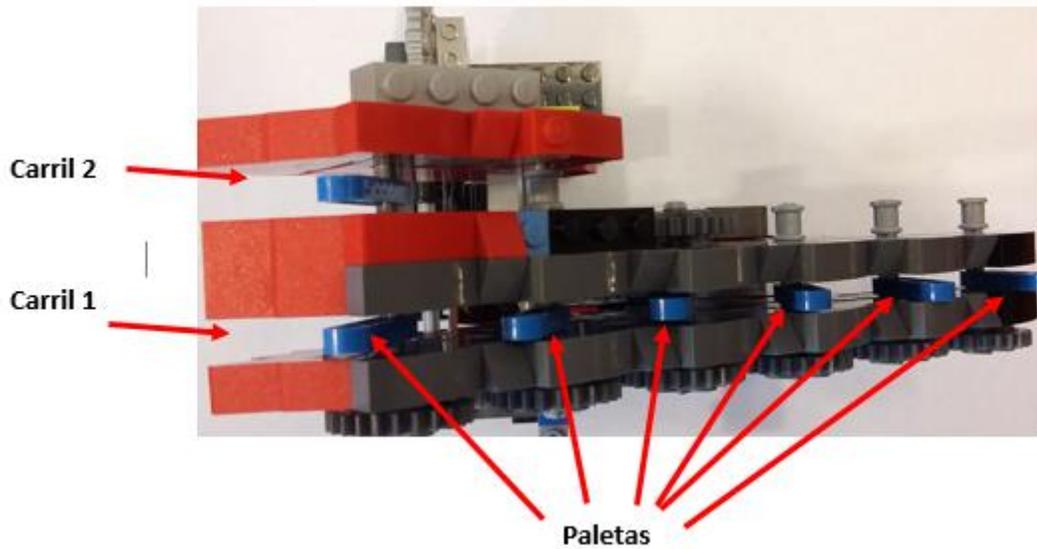


Figura 3. 5. Vista superior del mecanismo levadizo.

En la figura 3.6 se muestra el mecanismo levadizo desde una vista lateral. Desde esta vista se puede apreciar los escalones donde descansan las esferas, así como el tren de engranes que mueve las paletas.

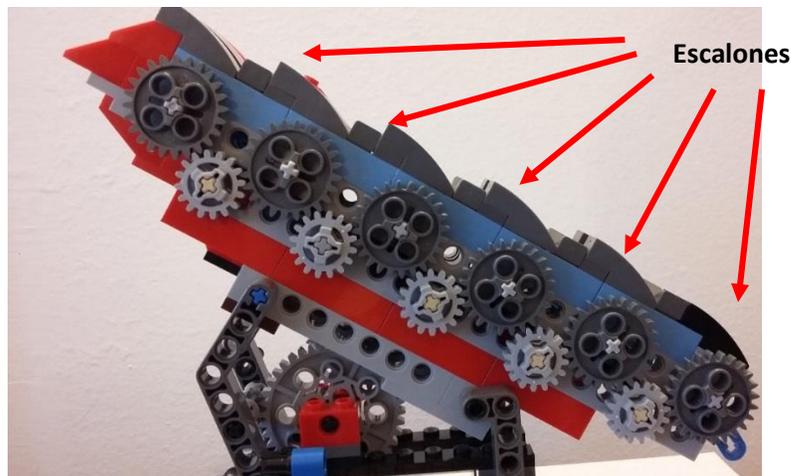


Figura 3. 6. Vista lateral del mecanismo levadizo.

En la parte superior del mecanismo se encuentra el sensor fotoeléctrico LilyPad Light Sensor. Al no tener un emisor de luz, se instaló un LED de luz blanca para que incidiera en el objeto como se muestra en la figura 3.7.

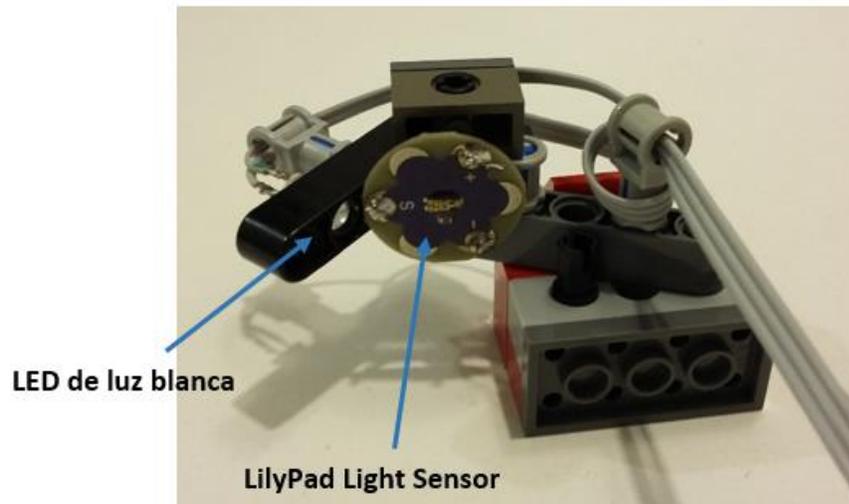


Figura 3. 7. Adaptación de Sensor LilyPad Light Sensor y LED de luz blanca.

El sensor fotoeléctrico LilyPad Light Sensor se colocó en la parte superior del mecanismo como se muestra en la figura 3.8.

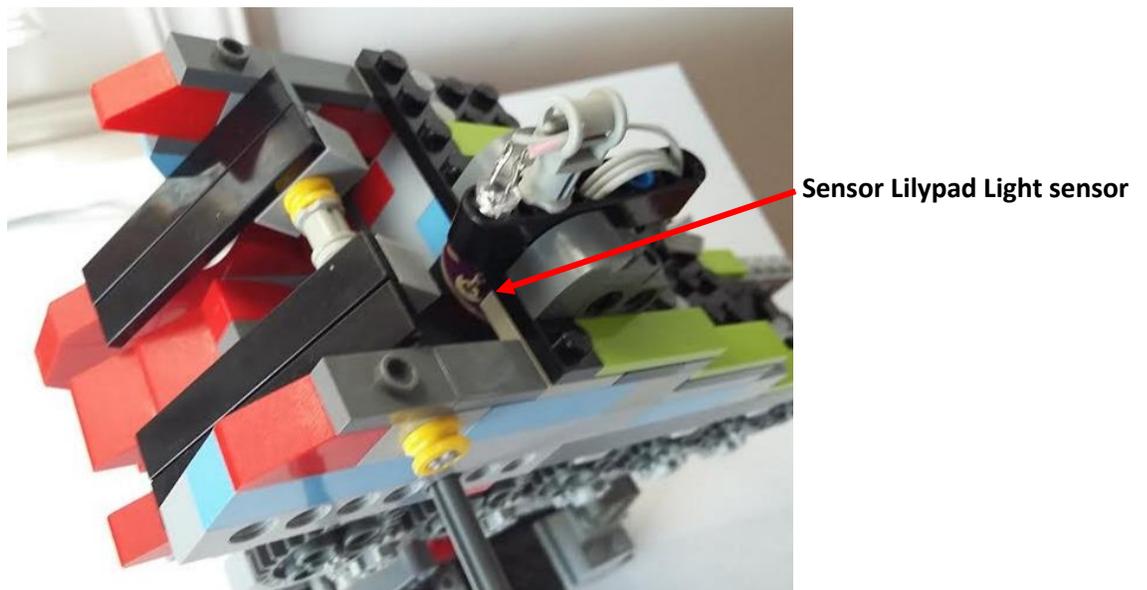
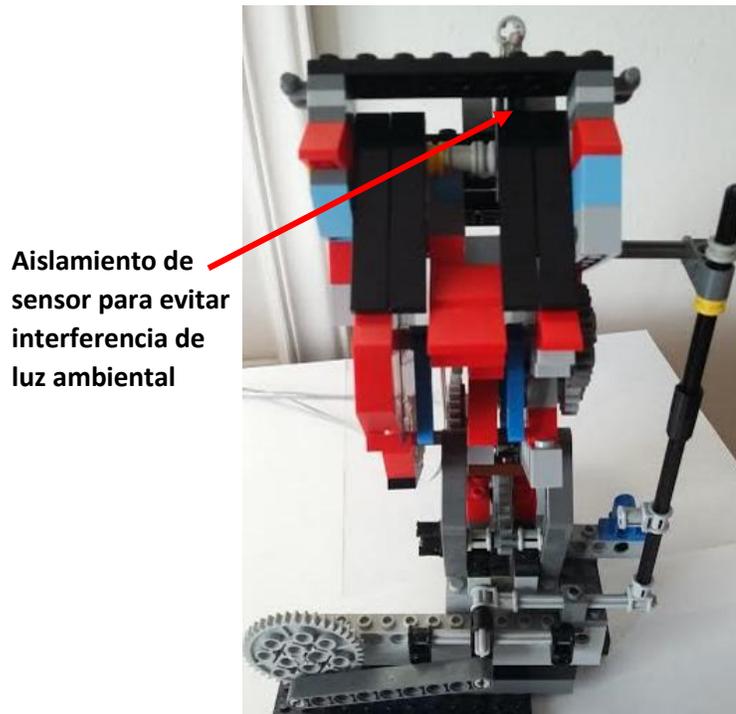


Figura 3. 8. Adaptación de sensor fotoeléctrico en la parte superior.

Se aisló el sensor para que no le afectara la luz ambiental (Figura 3.9).



Aislamiento de sensor para evitar interferencia de luz ambiental

Figura 3. 9. Mecanismo levadizo vista frontal con aislamiento de sensor fotoeléctrico Lilypad.

## 2. Mecanismo separador.

Por cuestiones de seguridad, complejidad, peso y tamaño se colocó en la parte inferior del modelo.

Especificaciones.

Altura total	18 cm
Longitud total	14.5 cm
Número de engranes de 8 dientes	1
Número de engranes de 40 dientes	1
Motor PF Mediano	Velocidad 405 RPM; Torque 11 N*cm
Consumo de corriente motor en reposo	50.3 mA
Consumo de corriente motor con carga	51 mA
Número de sensores	1 micro switch

Tabla 3. 2. Especificaciones de mecanismo separador.

La velocidad de este mecanismo tiene que ser menor a las 405 RPM que entrega el motor, pero mayor a la del mecanismo levadizo debido a que se tiene que hacer el cambio del carril 1 al 2 de forma rápida.

Es por eso que aplicando la ecuación (2), la velocidad del motor se redujo de 405 RPM a 81 RPM por medio de un engrane de 8 dientes y uno de 40, (Figura 3.10).

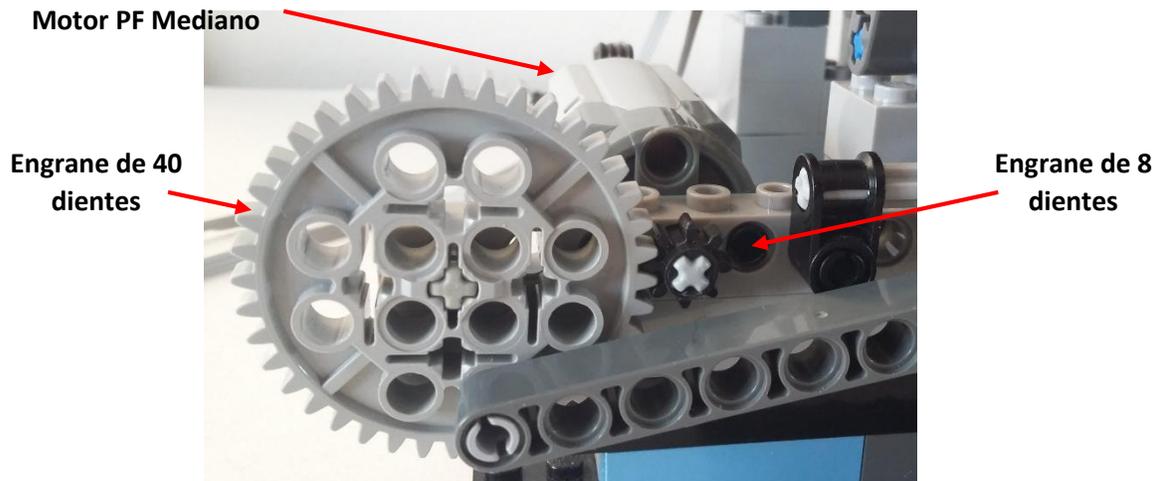


Figura 3. 10. Reductor de velocidad.

La velocidad de este mecanismo es de 81 RPM, mientras que el giro de las paletas del mecanismo levadizo es de 16.2 RPM, por lo tanto, le da el tiempo necesario de empujar las esferas antes de que las paletas completen un giro de 360°.

Debido a que el movimiento que entrega el motor es rotatorio y se necesita que este mecanismo empuje las esferas de un carril a otro se requiere un movimiento lineal, por lo que se construyó una Biela-manivela a la salida del engrane de 40 dientes, figura 3.11.

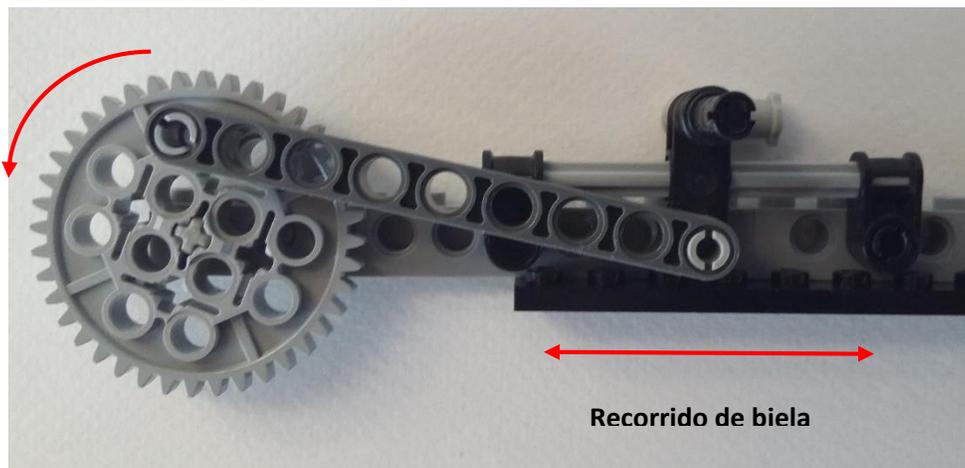


Figura 3. 11. Biela-manivela.

Se construyó la biela-manivela en la parte inferior del mecanismo levadizo, figura 3.12, se observa la transmisión de movimiento de la parte inferior al separador de la parte superior.

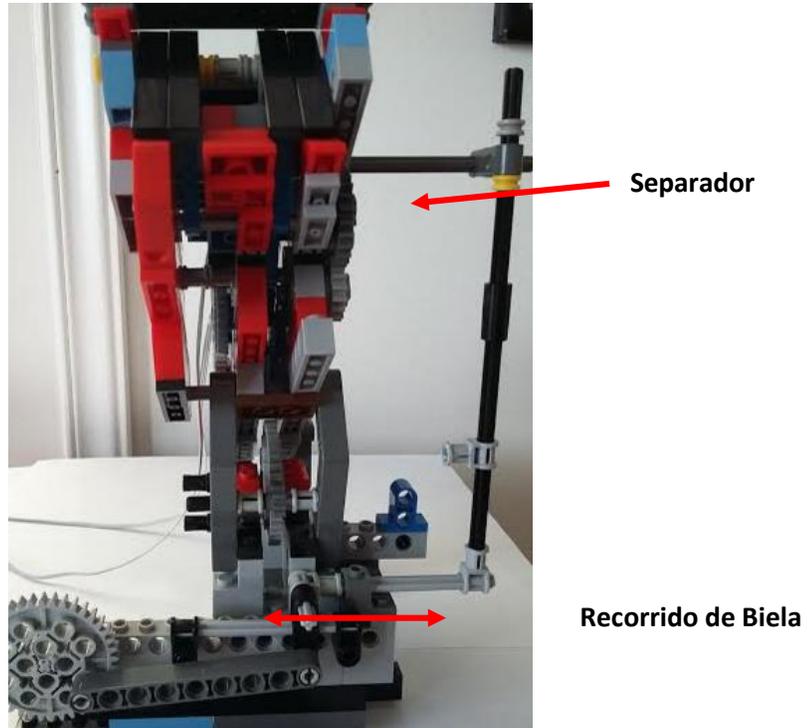
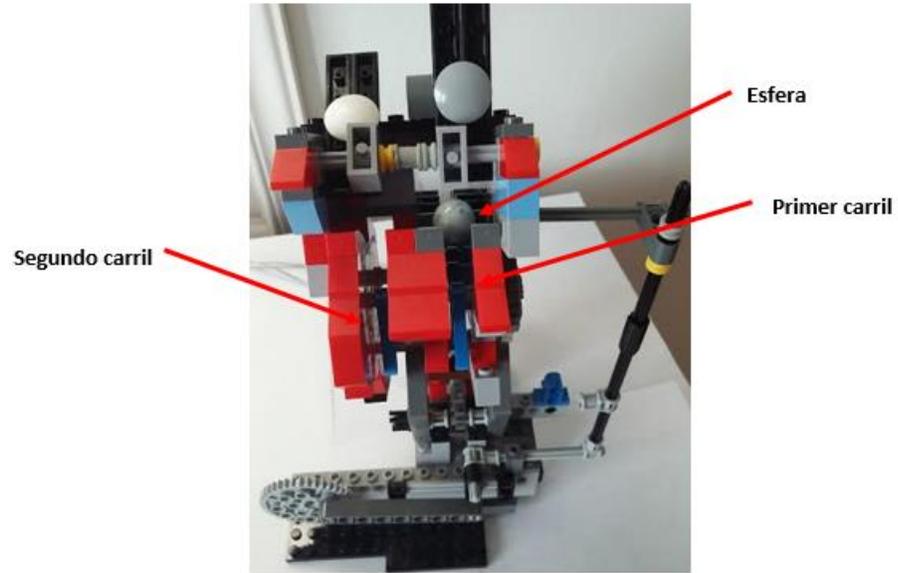


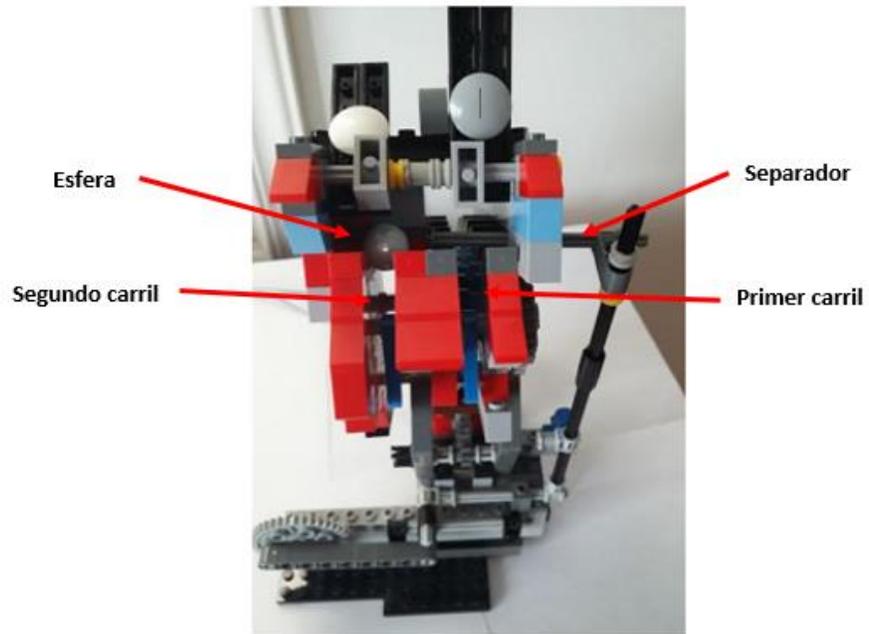
Figura 3. 12. Biela-manivela unida con separador.

A continuación (Figura 3.13) se da un ejemplo de cómo actúa el mecanismo separador.

- a) La esfera se encuentra en el primer carril.
- b) El engrane de 40 dientes gira  $180^\circ$  permitiendo el recorrido de la biela, el separador empuja la esfera al segundo carril.



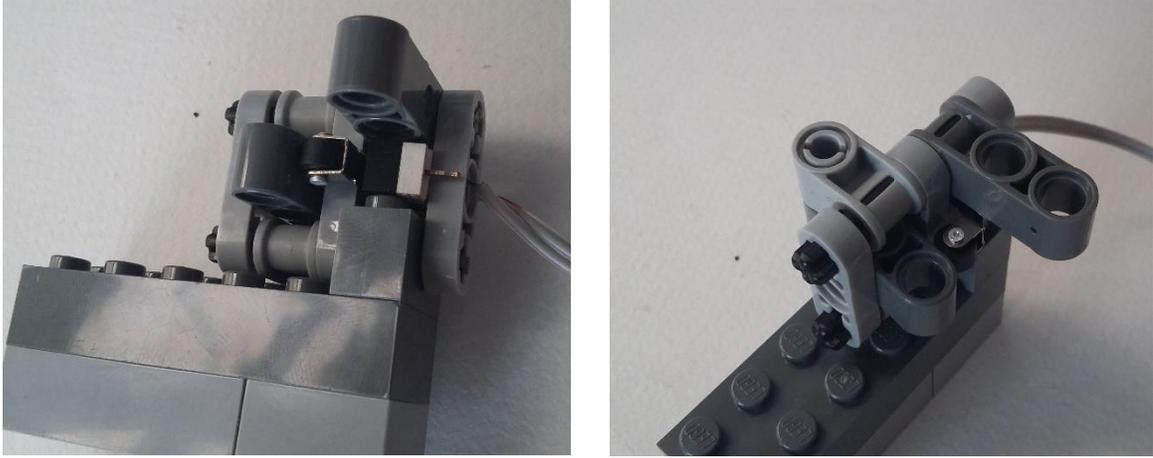
a)



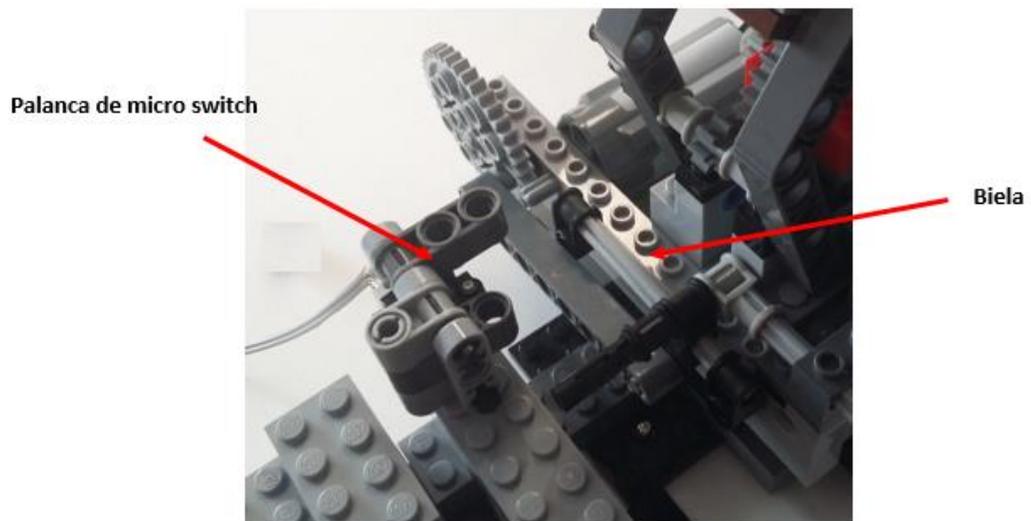
b)

Figura 3. 13. Mecanismo separador.

Se colocó un micro switch como final de carrera al inicio de la biela, para determinar cuando la esfera ya ha sido empujada por el separador, figura 3.14.



a)



b)

Figura 3. 14. a) adaptación de micro switch. b) colocación de micro switch al inicio del recorrido de la biela.

### 3. Mecanismo de dispensadores.

Existen 2 de estos mecanismos, uno para cada dispensador, se encuentran en el extremo de los dispensadores, su función es controlar el número de esferas que se requieran dosificar, ya sea blancas o negras.

Especificaciones.

Altura en punto máximo	19 cm
Altura en punto mínimo	15 cm
Longitud de carriles	11 cm
Número de engranes 8 dientes	4
Número de engranes 40 dientes	4
Número de motores PF mediano	2
Motor PF mediano	Velocidad 405 RPM; Torque 11 N*cm
Corriente de motor sin carga	48.2 mA
Corriente de motor con carga	50 mA
Número de sensores	2 Micro switch

Tabla 3. 3. Especificaciones de mecanismo de dispensadores.

Las esferas ya separadas por color se depositan en cada uno de los dispensadores contruidos como carriles. Se les dio una inclinación de aproximadamente 30° para que las esferas se deslicen por gravedad, figura 3.15.

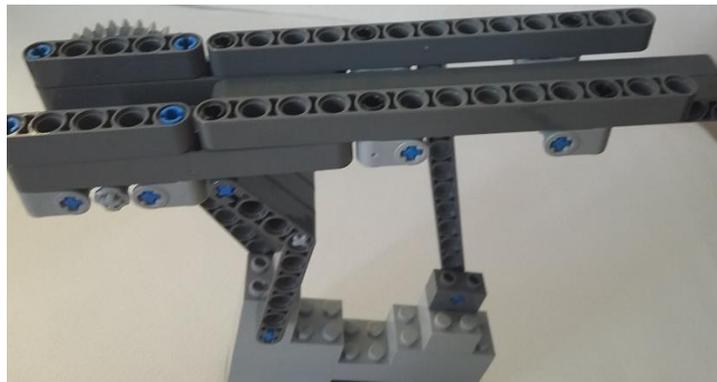


Figura 3. 15. Dispensadores contruidos como carriles.

Para regular el paso de las esferas, al final de cada dispensador se encuentra un mecanismo de barras giratorias que trabajan a 16.2 RPM que suministran 64 esferas por minuto. El mecanismo es movido por un motor PF de 405 RPM, por lo que fue necesario incorporar un reductor de velocidad formado de engranes paralelos de 8 y 40 dientes., como se muestra en la figura 3.16.

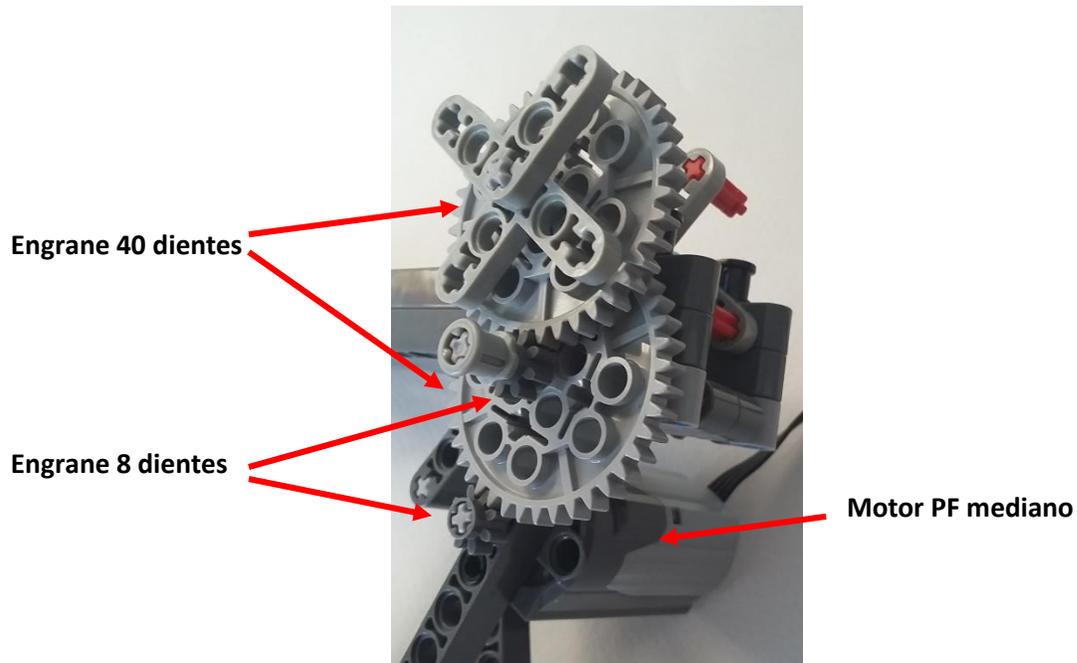


Figura 3. 16. Reductor de velocidad.

A la flecha del engrane de 40 dientes conducido se construyeron las barras que detiene el paso de las esferas, figura 3.17.

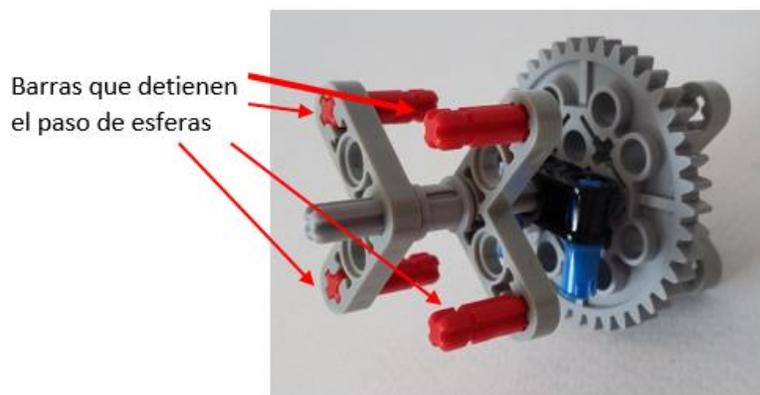
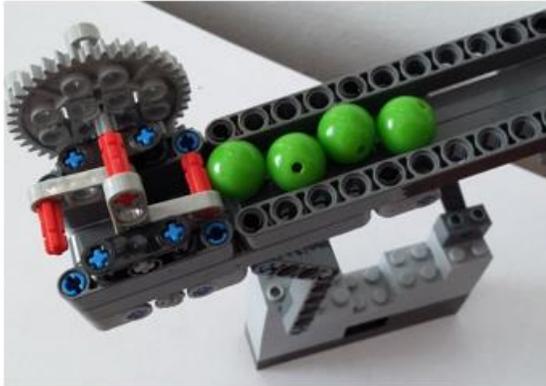
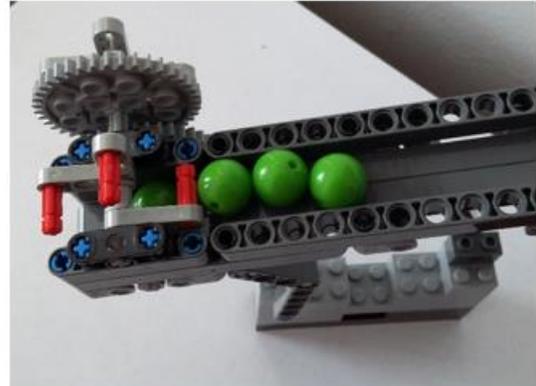


Figura 3. 17. Flecha de engrane con barras.

Estas barras se encuentran al final de cada dispensador, permiten el paso de una esfera a la vez, como se observa en la figura 3.18.



a)



b)

Figura 3. 18. Mecanismo para regular el paso de esferas. a) Dispensador con 4 esferas detenidas por una de las barras. b) Mecanismo deja pasar una esfera y detiene a las 3 restantes.

En la Figura 3.19 se observan los dos dispensadores, uno para cada color de esfera.

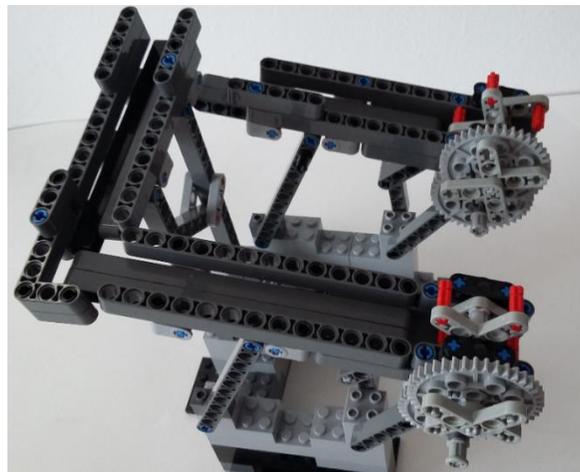


Figura 3. 19. Dispensadores contruidos.

Se ocuparon dos microswitch, uno por dispensador, para llevar el conteo del número de esferas que pasan. Figura 3.20.

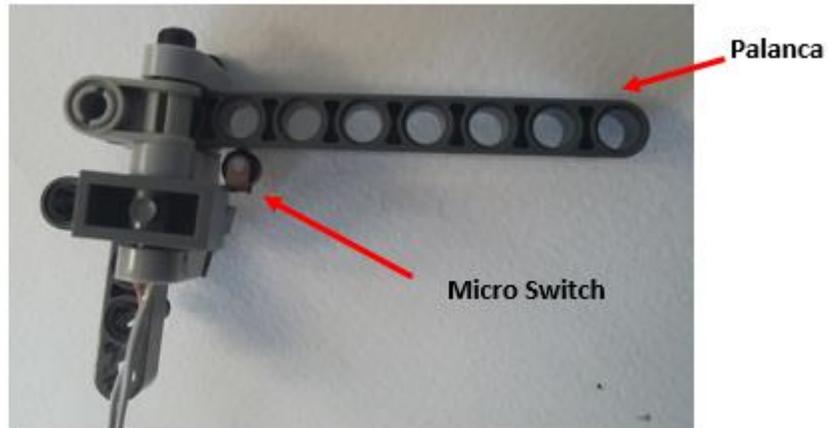


Figura 3. 20. Adaptación de micro switch.

Se adaptaron a la flecha del engrane de 40 dientes conducido, una flecha para activar el micro switch. Cada 90° de giro representa una esfera contada (Figura 3.21).

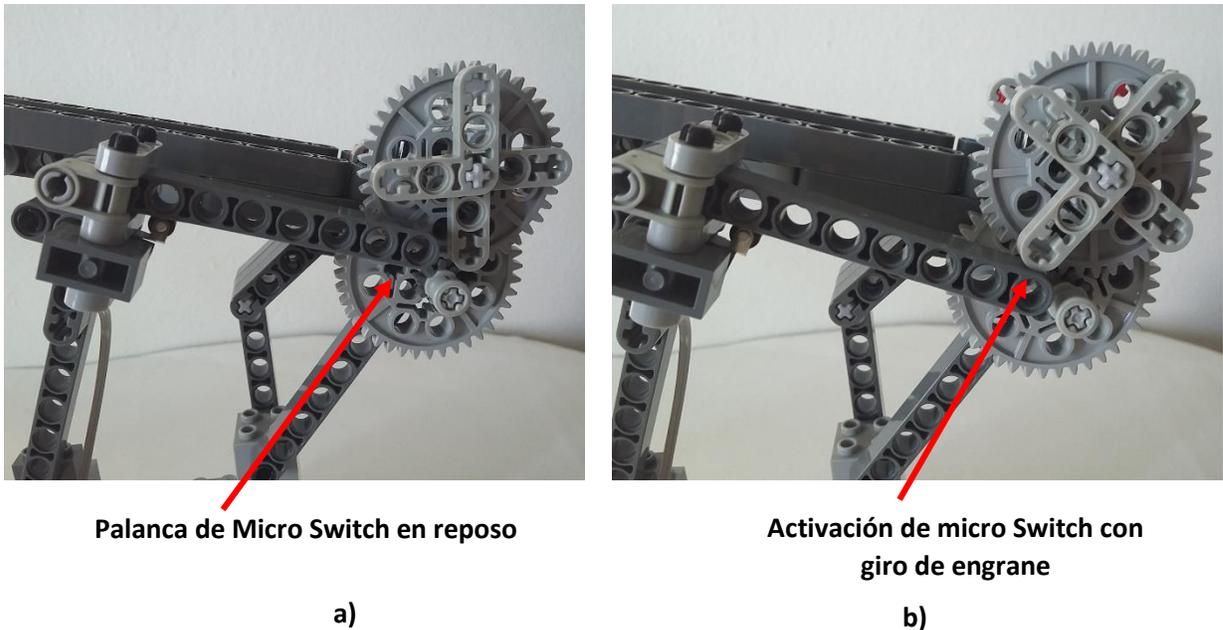


Figura 3. 21. a) micro switch en reposo. b) Al girar el engrane de 40 dientes giran las barras que permiten el paso de las esferas, al mismo tiempo que se cuentan.

#### 4. Primera banda transportadora.

El sensor ultrasónico se encuentra en el inicio de la banda y por sus especificaciones de sensado debe tener una longitud mínima para detectar la canasta que se encuentre frente al sensor, es por eso que la banda tiene una longitud de 34.7 centímetros.

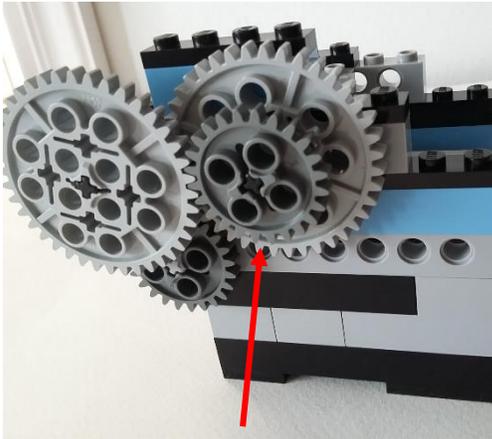
Especificaciones.

Altura	11 cm
Longitud total	34.7 cm
Longitud de recorrido	26 cm
Número de engranes de 12 dientes	2
Número de engranes cónicos de 12 dientes	2
Número de engranes de 24 dientes	4
Número de engranes cónicos de 24 dientes	2
Número de engranes de 40 dientes	1
Número de motores	1
Motor PF mediano	Velocidad 405 RPM; Torque 11 N*cm
Consumo de corriente sin carga	50.3 mA
Consumo de corriente con carga	51 mA
Número de sensores	1 Sensor Ultrasónico LV-MaxSonar®-EZ3™; 2 sensores fotoeléctricos de barrera

Tabla 3. 4. Especificaciones de primera banda transportadora.

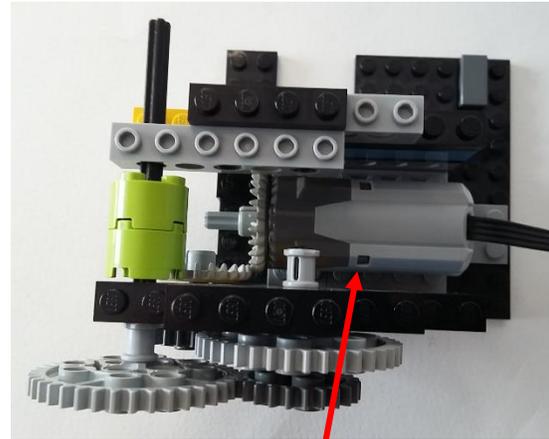
Se construyó un reductor de velocidad con engranes paralelos de 24 y 40 dientes, aplicando la ecuación (2), reduciendo la velocidad máxima de 405 RPM a 145.8 RPM; sin embargo, al ser este motor una salida analógica se puede modificar la velocidad dependiendo del voltaje con que se alimente, figura 3.22.

El engrane conducido de 40 dientes se conecta con la banda por medio de una transmisión construida con 2 engranes de 12 y dos engranes cónicos de 12. La transmisión se conecta con un extremo de la banda donde se encuentra un engrane de 24 dientes que es el que impulsa la banda transportadora (Figura 3.23).



**Reductor de velocidad**

**a)**



**Motor PF mediano**

**b)**

Figura 3. 22. a) reductor de velocidad de engranes paralelos. b) vista superior, se aprecia motor.

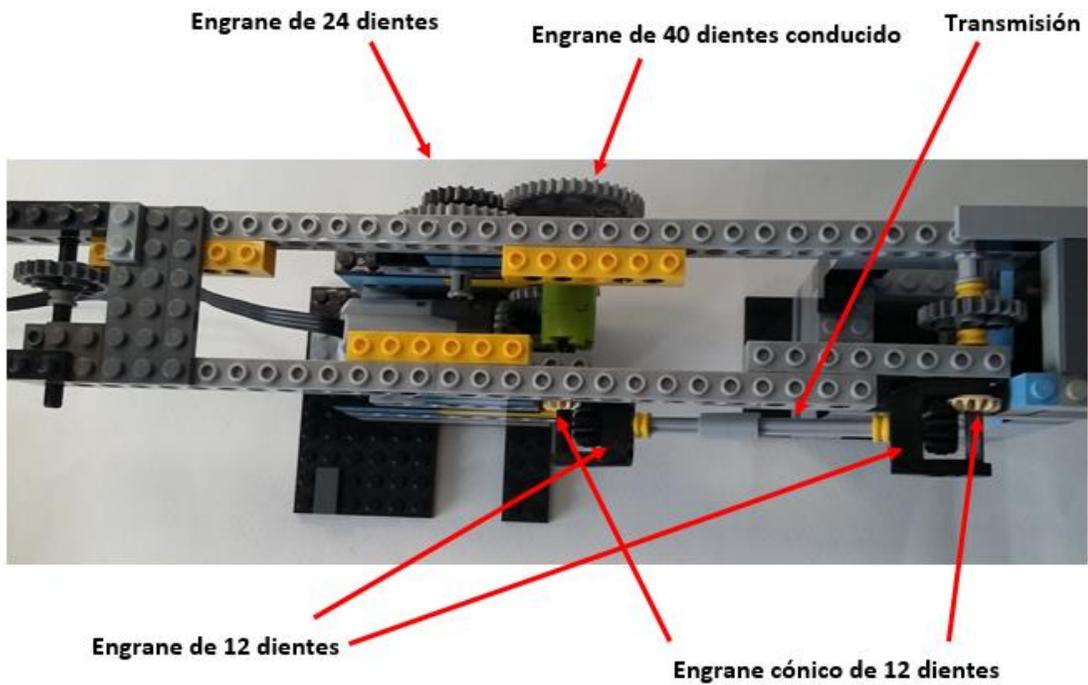


Figura 3. 23. Construcción de transmisión y armazón de la banda.

La banda transportadora se coloca sobre la plataforma y es movida por el engrane de 24 dientes figura 3.24.

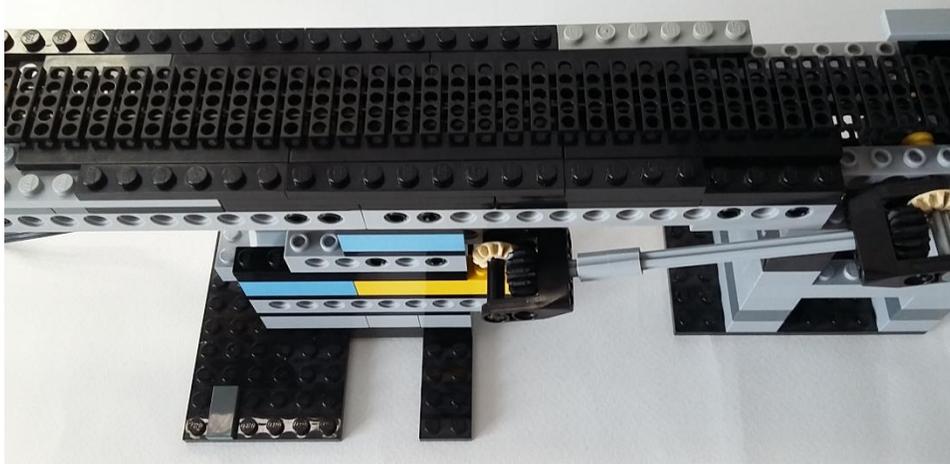
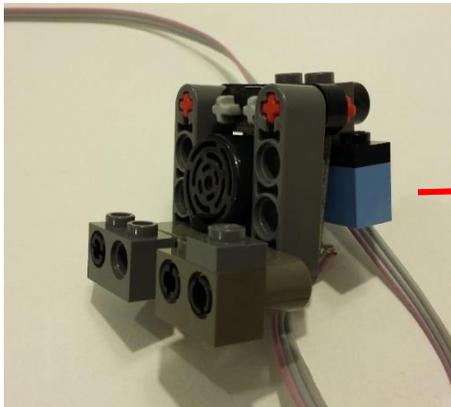


Figura 3. 24. Banda transportadora instalada.

En un extremo de la banda se encuentra el sensor Ultrasónico LV-MaxSonar adaptado para medir la distancia a la que se encuentran las canastas (Figura 3.25).



Sensor Ultrasónico LV-MaxSonar

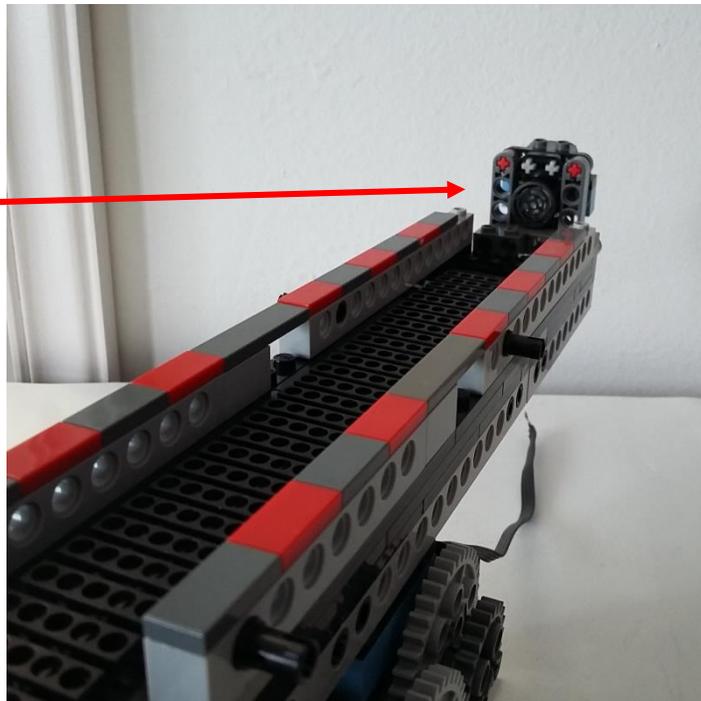
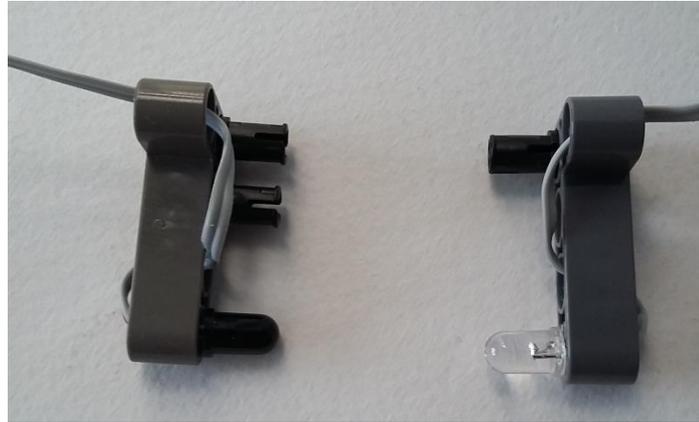
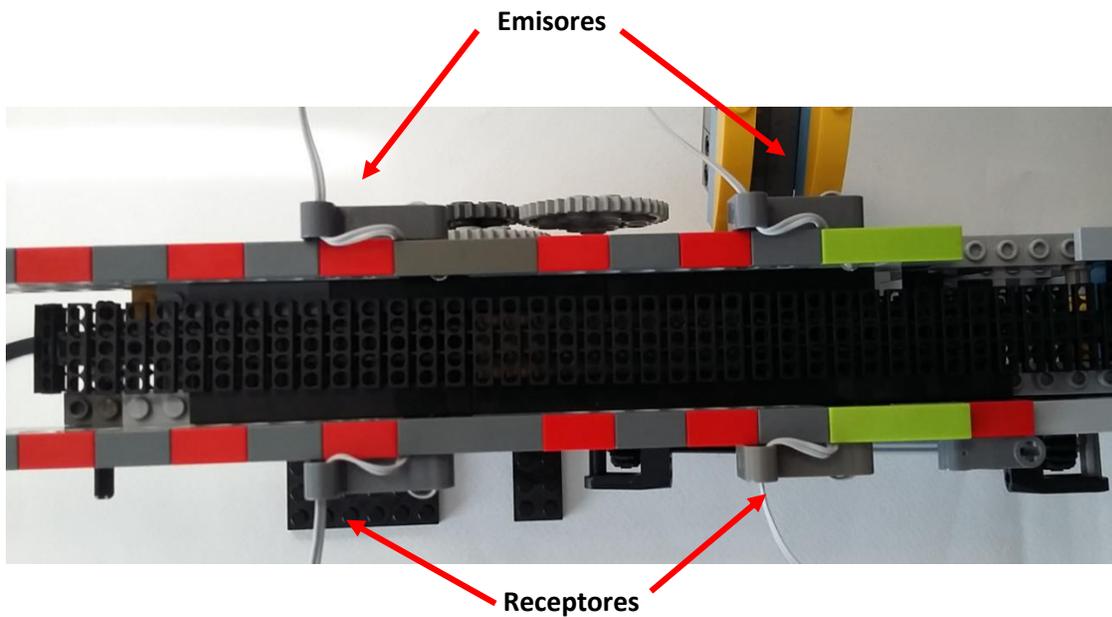


Figura 3. 25. Adaptación de sensor ultrasónico LV-MaxSonar al inicio de la banda transportadora.

A los laterales de la banda transportadora y alineado a los dispensadores se encuentran dos sensores foto-eléctricos de barrera, emisor y receptor, se encargan de determinar si la canasta se encuentra alineada con el dispensador 1 o con el dispensador 2, con la finalidad de que no caigan esferas fuera de la canasta (Figura 3.26).



a)



b)

Figura 3. 26. a) Sensor foto eléctrico de barrera. b) Adaptación de sensores fotoeléctricos de barrera a los laterales de la primera banda trasportadora.

La banda transportadora completa se puede observar en la Figura 3.27.



Figura 3. 27. Banda trasportadora.

#### 5. Primer mecanismo retira canastas.

Para este mecanismo se consideró la sincronización de las palancas para los movimientos derecha-izquierda y atrás-adelante. La idea de este mecanismo se tomó del video de Akiyuki [12] adaptándolo para la necesidad del proceso.

Especificaciones.

Altura	12 cm
Número de engranes de 8 dientes	2
Número de engranes de 24 dientes	9
Número de engranes de 40 dientes	5
Número de motores	1
Motor XL	Velocidad 220 RPM; Torque 40 N*cm
Corriente de motor sin carga	50.3 mA
Corriente de motor con carga	75 mA

Tabla 3. 5. Especificaciones de primer mecanismo retira canastas.

Este mecanismo es el más pesado comparado con los otros, es por eso que se requiere un motor con mayor torque, la velocidad de este mecanismo es muy importante, si es muy alta puede fallar el mecanismo que sincroniza las palancas.

Por este motivo se construyó un reductor de velocidad con un engrane de 24 dientes y uno de 40, reduciendo así la velocidad de 220 RPM a 132 RPM, como se muestra en la figura 3.28.

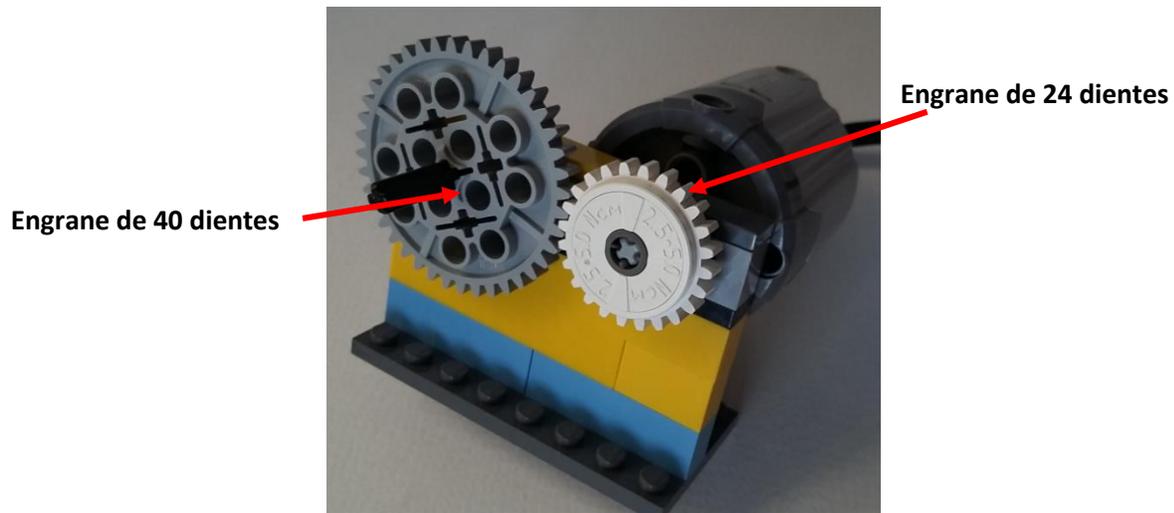


Figura 3. 28. Reductor de velocidad.

Se construyó un mecanismo para sincronizar las palancas, usando un engrane de 8 dientes, dos engranes de 40 y cuatro engranes de 24 para cada palanca. Una cadena se extiende entre cada par de engranes de 24. Figura 3.29.

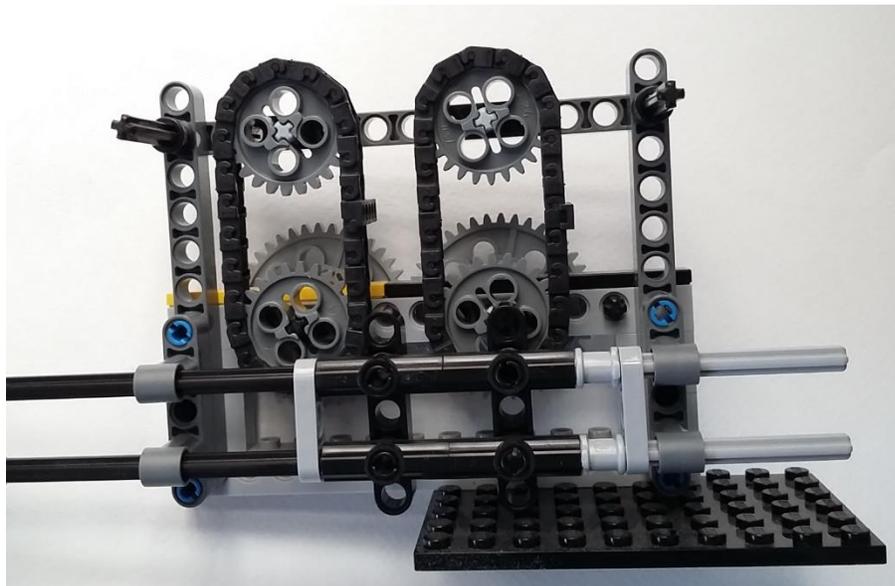


Figura 3. 29. Disposición de engranes.

Dentro de la cadena se encuentran dos piezas diferentes, figura 3.30 cuya función es la de empujar y regresar un par de barras paralelas, figura 3.31, cada que estas piezas dan una vuelta completa alrededor del par de engranes y empujan las barras, figura 3.32.

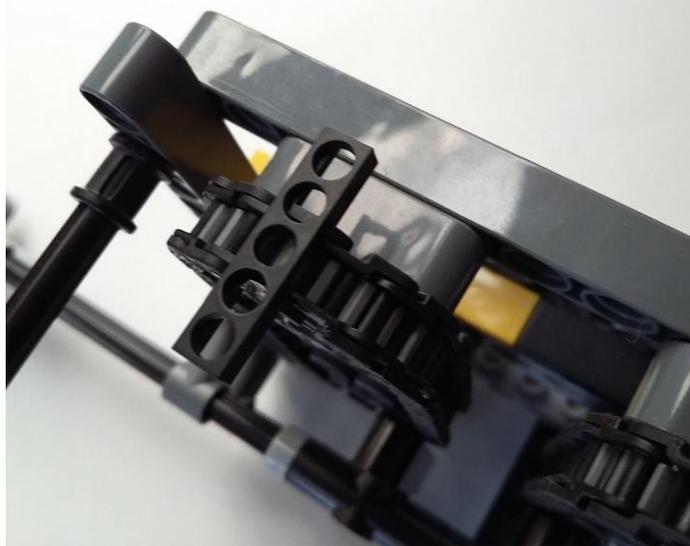


Figura 3. 30. Cadena.

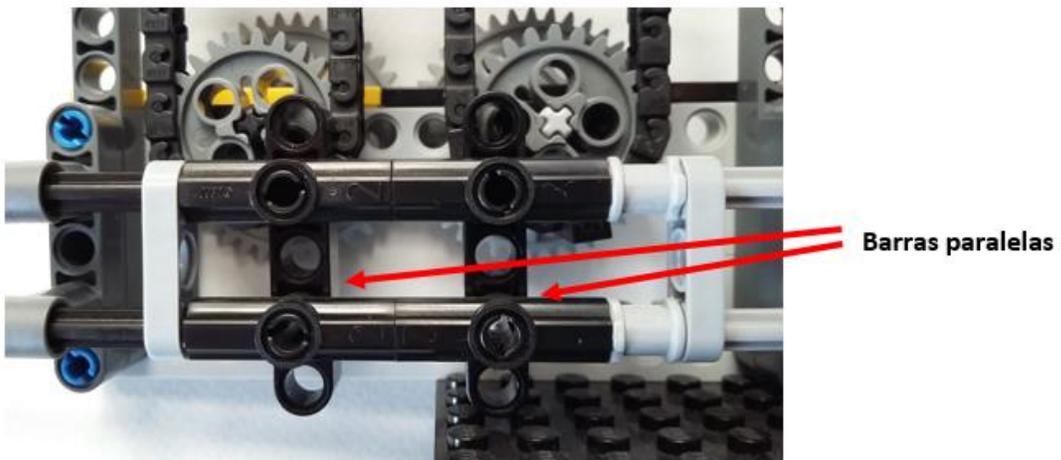
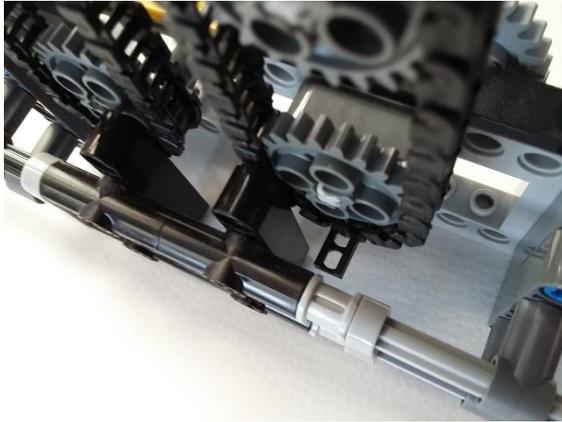
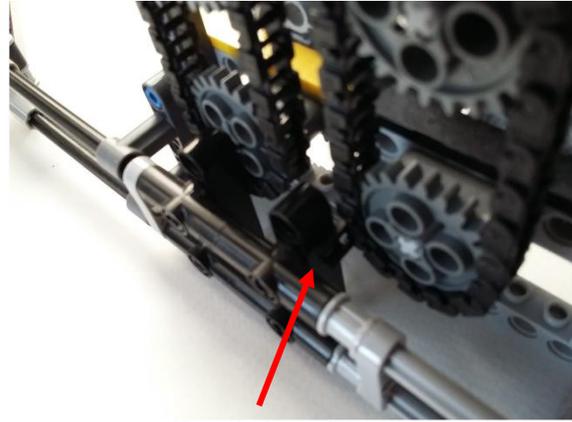


Figura 3. 31. Barras paralelas.



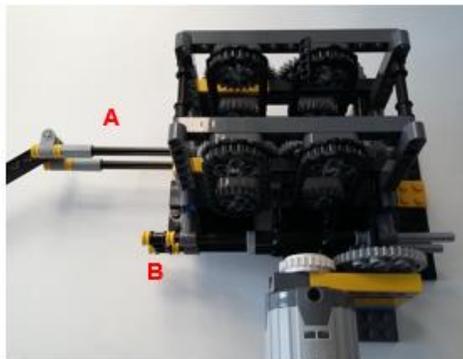
Pieza de cadena



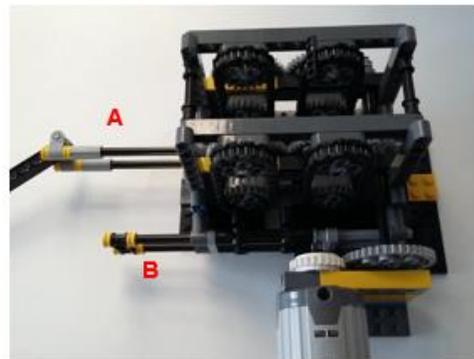
La pieza de la cadena empuja las barras

Figura 3. 32. Mecanismo síncrono.

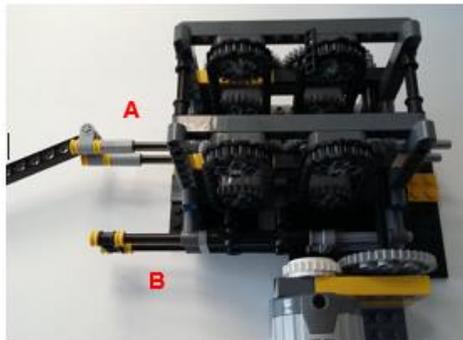
Construcción un mecanismo similar para la segunda palanca con la diferencia de un desfaseamiento de  $90^\circ$ , esto con el fin de sincronizar las barras, como se muestra en la figura 3.33.



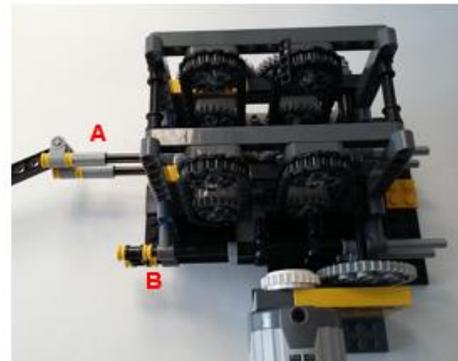
a)



b)



c)



d)

Figura 3. 33. a) La palanca A es empujada hacia enfrente. b) La palanca B es empujada hacia enfrente. c) A regresa. d) B regresa.

La palanca A se encarga de generar los movimientos izquierda-derecha ya que su eje se encuentra sobre el plano X, mientras la palanca B genera los movimientos adelante-atrás, debido a que su eje se encuentra sobre el plano Z como se muestra en la figura 3.34.

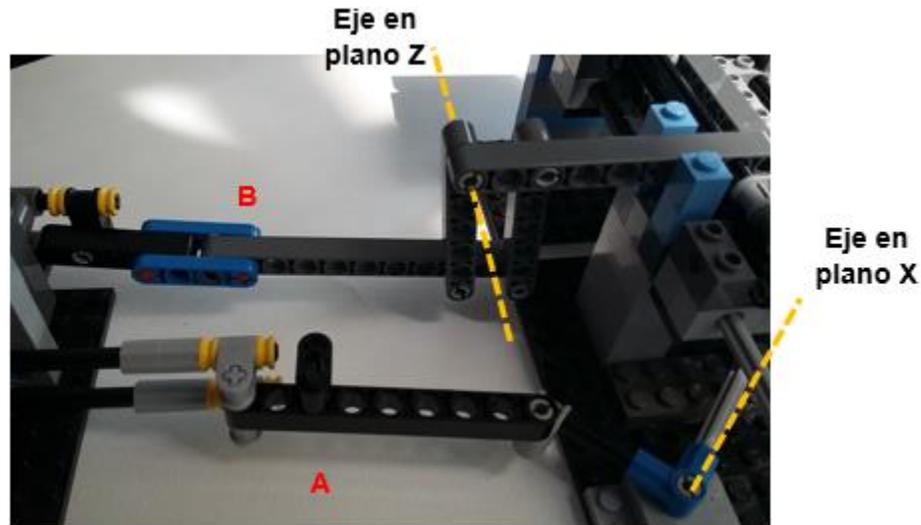


Figura 3. 34. a) Palanca A, eje en plano X. b) palanca B, eje en plano Z.

Se construyeron los rieles para que los compartimentos se deslizaran de izquierda-derecha, figura 3.35.

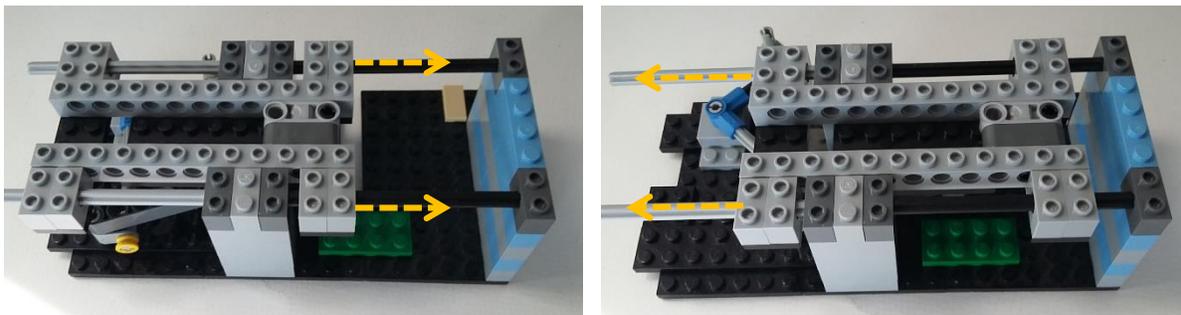


Figura 3. 35. Rieles izquierda-derecha.

Se construyeron los rieles para que los compartimentos se deslizaran adelante-atrás, figura 3.36.

Se colocaron los rieles adelante-atrás sobre los rieles izquierda-derecha, figura 3.37.

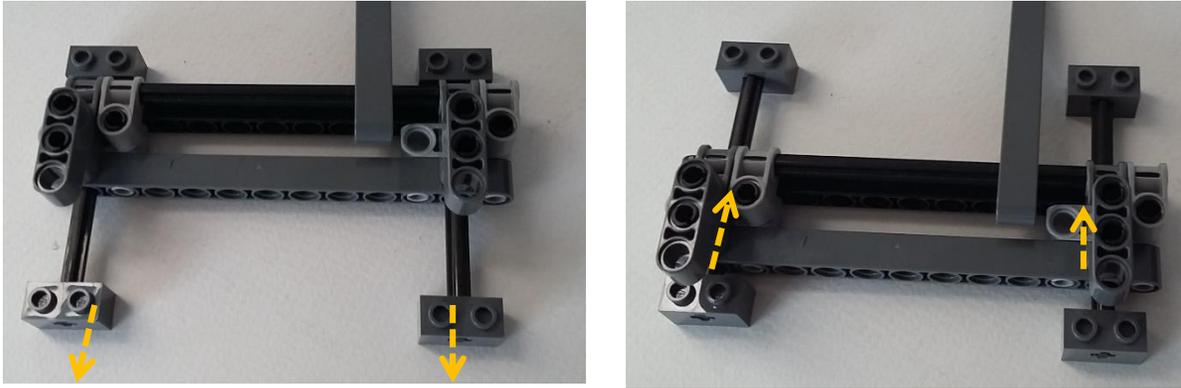


Figura 3. 36. Rieles adelante-atrás.

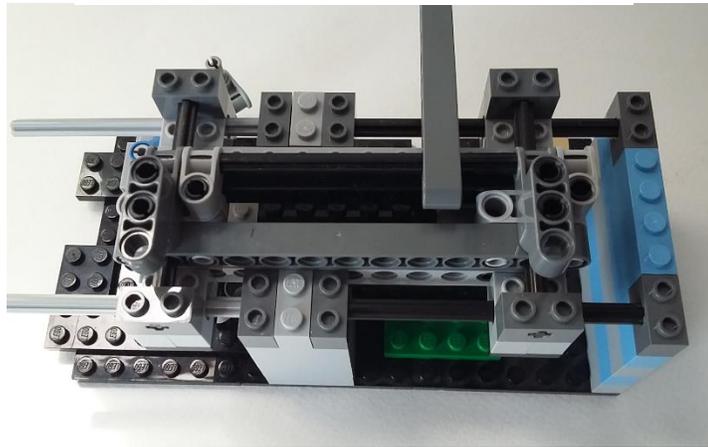


Figura 3. 37. Rieles adelante-atrás sobre rieles izquierda-derecha.

Con el movimiento de las barras A y B se controlan los movimientos adelante-atrás e izquierda-derecha del carro. Figura 3.38.

Se construyeron 5 compartimentos que se montan sobre los rieles, así como la superficie fija, figura 3.39.

Se continuó con unir el reductor de velocidad, mecanismo síncrono, barras, rieles, compartimentos y superficie fija, figura 3.40.

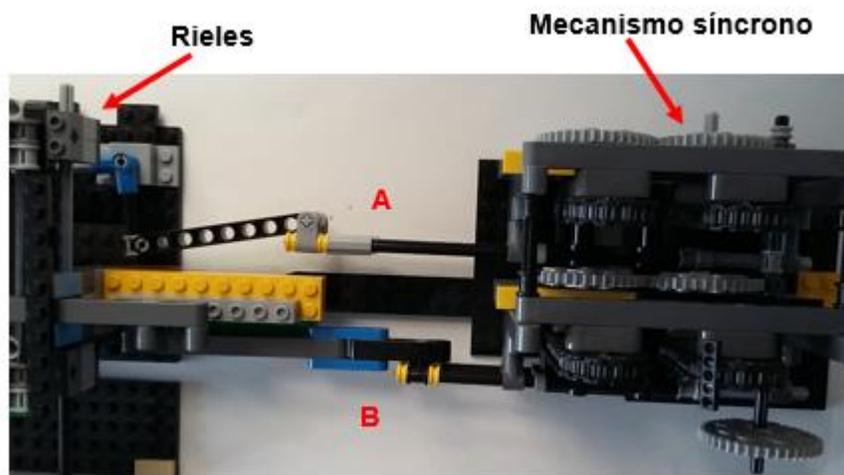


Figura 3. 38. Barras A y B unidas a carriles.



a)



b)

Figura 3. 39. a) compartimentos. b) superficie fija.

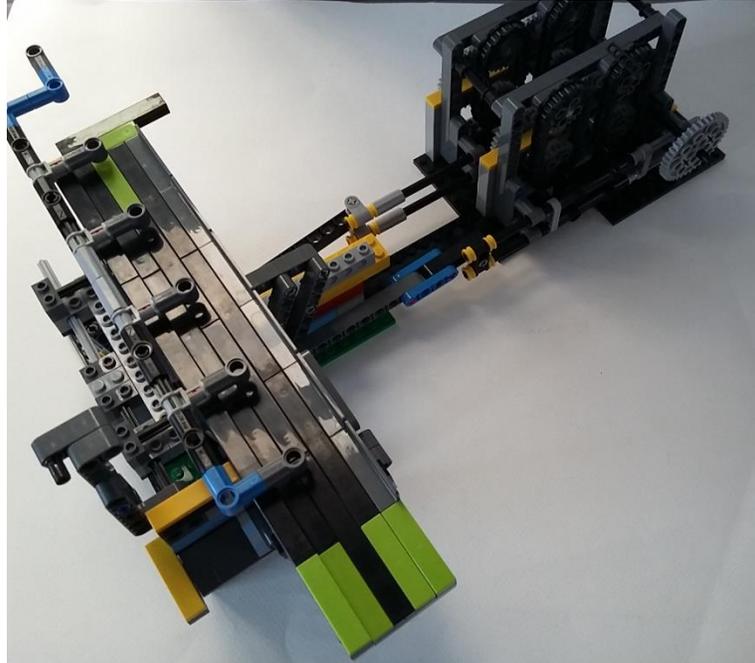


Figura 3. 40. Primer mecanismo retira canastas.

Se adaptó un microswitch como final de carrera detrás de la palanca B para determinar cuándo ha concluido un ciclo completo (adelante-izquierda-atrás-derecha). Figura 3.41.

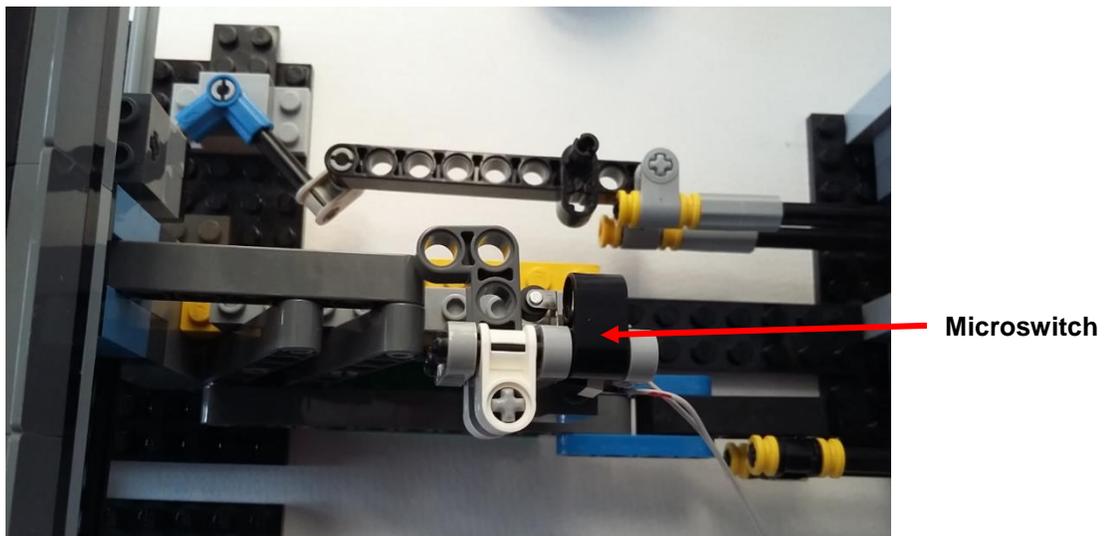


Figura 3. 41. Adaptación microswitch.

## 6. Mecanismo de vaciado.

La idea de este mecanismo se tomó de Akiyuki [12], adaptándose a las necesidades del proceso.

Especificaciones.

Altura reposo	17 cm
Altura activa	21 cm
Número de engranes de 8 dientes	2
Número de engranes de 24 dientes	1
Número de engranes cónicos de 24 dientes	2
Número de engranes de 40 dientes	2
Número de motores	1
Motor PF Mediano	Velocidad 405 RPM. Torque 11 N*cm
Corriente de motor sin carga	49.1 mA
Corriente de motor con carga	59-73 mA
Número de sensores	1 microswitch

Tabla 3. 6. Especificaciones de mecanismo de vaciado.

La velocidad de vaciado de este mecanismo debe ser moderada, ya que al vaciar la canasta no debe quedar ninguna esfera dentro, pero no debe vaciarlas con efecto catapulta es por eso que se construyó un reductor de velocidad, con base en la ecuación (2), con 2 engranes de 8 dientes, un engrane de 24 y dos engranes de 40. Reduciendo así la velocidad de 405 RPM a 27 RPM, figura 3.42.

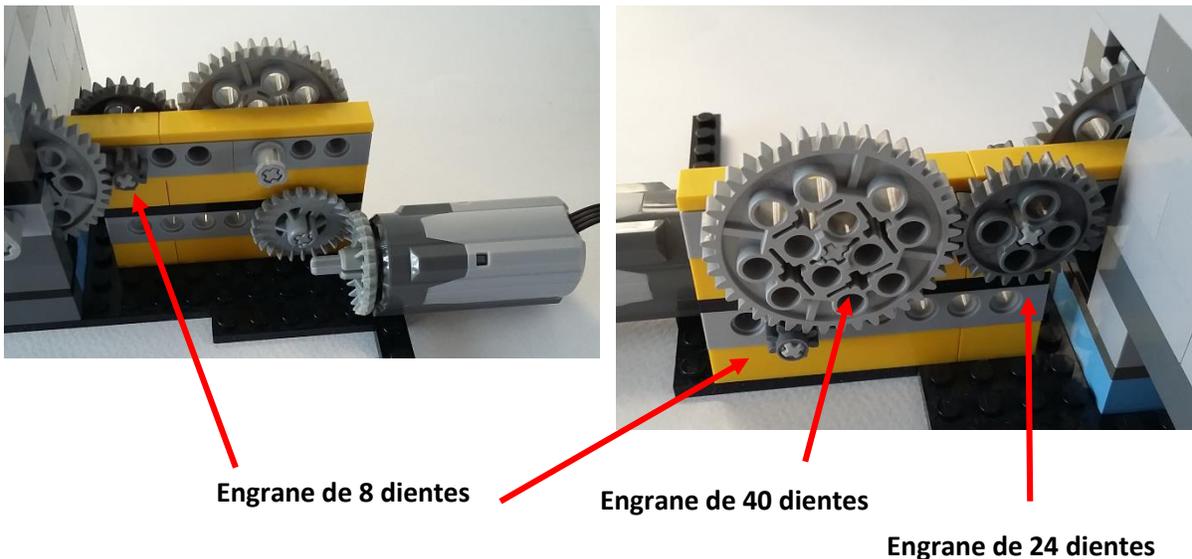


Figura 3. 42. Reducción de velocidad.

El mecanismo de sujeción de las canastas está construido por dos partes, una parte fija y una móvil. La parte móvil se mueve sobre un par de carriles hacia la parte fija, figura 3.43.

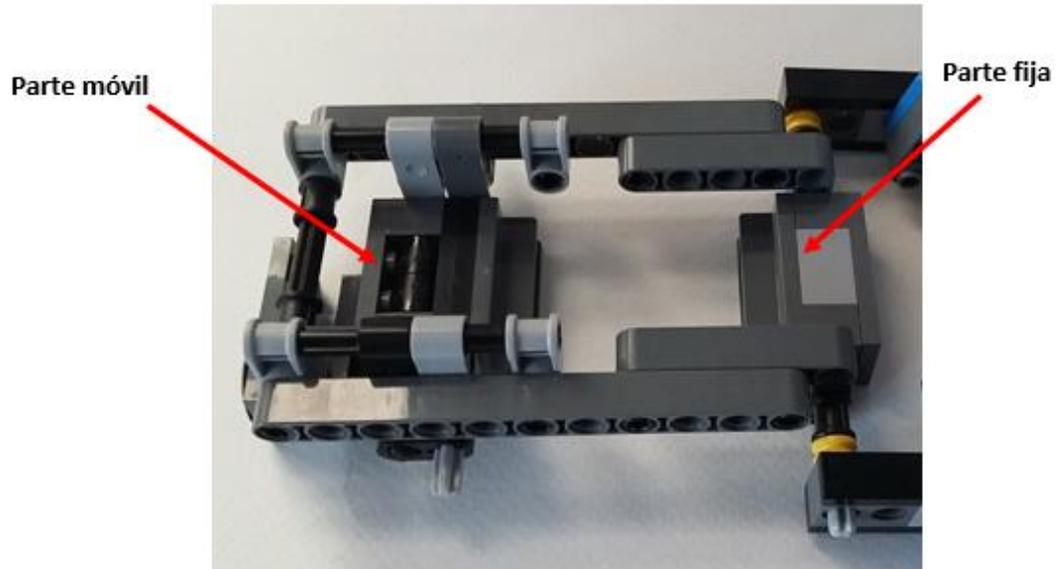


Figura 3. 43. Mecanismo de sujeción.

En la parte fija se tiene una palanca que se encuentra a 90° grados con dos barras que unen a la parte fija con la móvil, figura 3.44. Esta palanca mueve al par de barras de 45° a 135° logrando la sujeción y vaciado de las canastas, figura 3.45

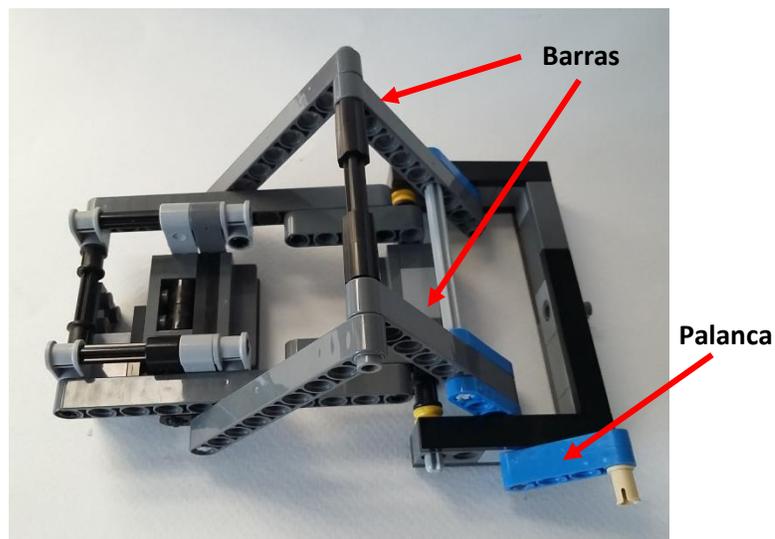
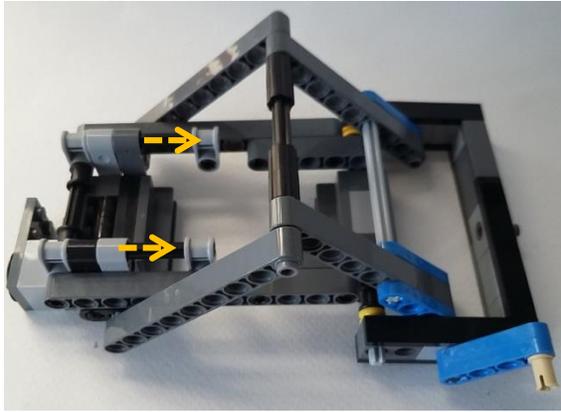
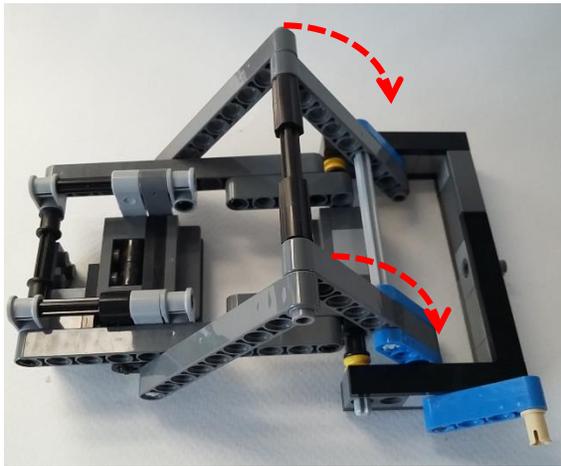


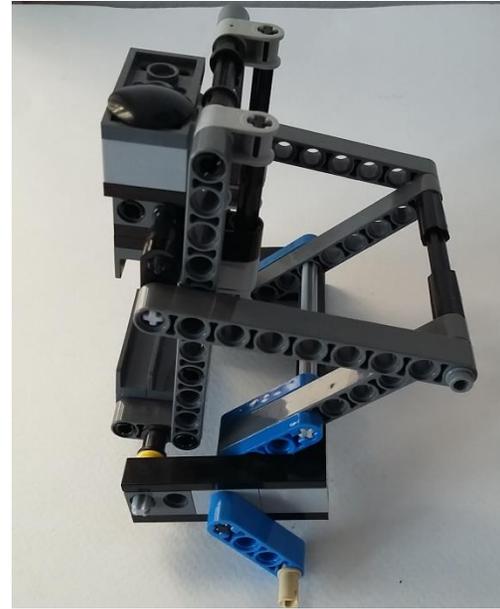
Figura 3. 44. Palanca a 90° de dos barras.



a)



b)

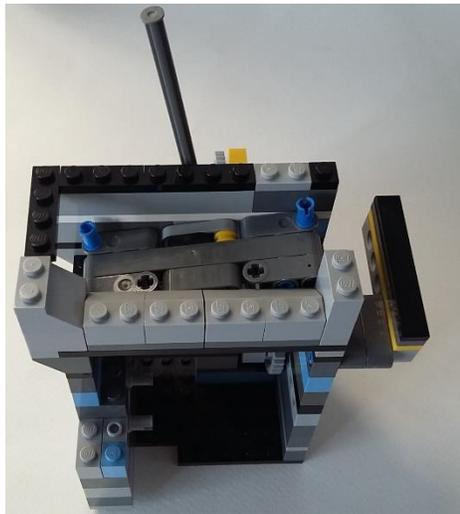


c)

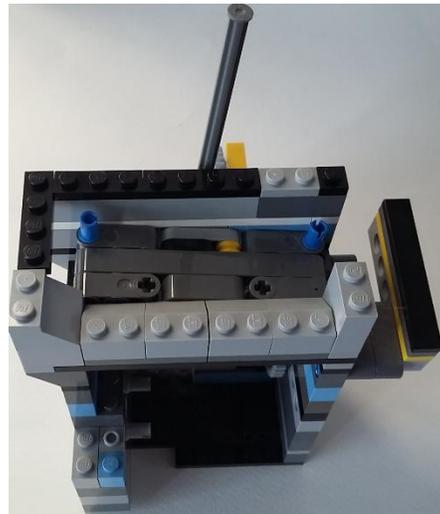
Figura 3. 45. Secuencia de movimientos de mecanismo de vaciado. a) La parte móvil se encuentra al inicio de los rieles. b) La parte móvil avanza sobre los rieles hacia la parte fija cuando la palanca se activa. c) A medida que la palanca baja el mecanismo de sujeción

Una vez vaciadas las esferas caen dentro de una rampa que se puede mover mediante un eje, del lado izquierdo se envían al inicio del modelo y del lado derecho se retiran. Figura 3.46.

El mecanismo de sujeción se encuentra sobre la rampa que a su vez se encuentra sobre el reductor de velocidad, figura 3.47.



a)



b)

Figura 3. 46. Rampa. a) Rampa hacia la izquierda. b) Rampa hacia la derecha.

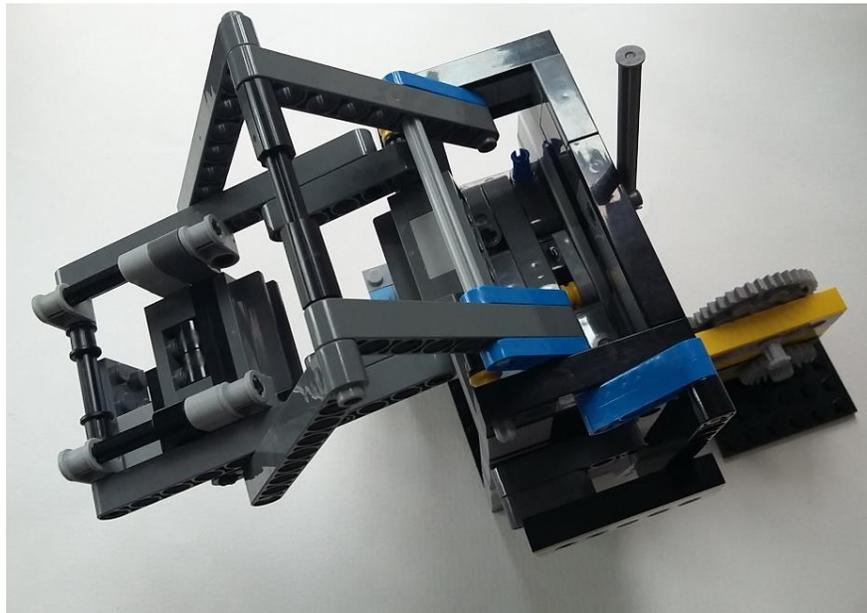


Figura 3. 47. Reductor, rampa y mecanismo de sujeción.

La palanca del mecanismo de sujeción se une a una biela que se encuentra en la flecha del engrane de 40 dientes conducido, figura 3.48, esta biela controla el movimiento de sujeción y vaciado.

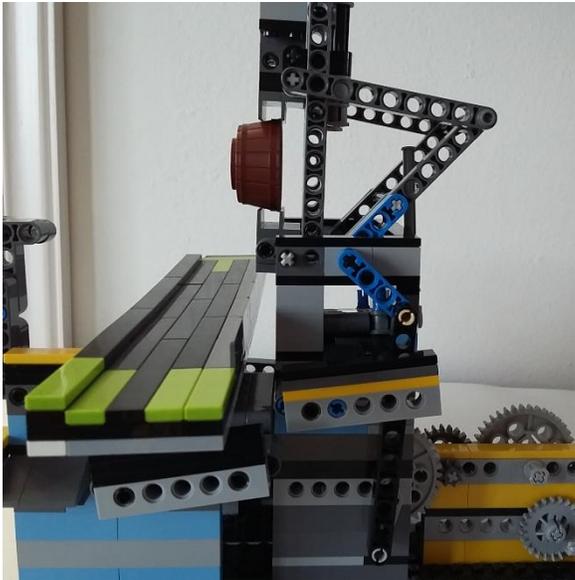


Biela

a)



b)



c)



d)

- a) La biela se encuentra a 90° inicialmente, el mecanismo aprisiona la canasta.
- b) La biela se encuentra a 180° y el mecanismo a 45° con la canasta sujeta.
- c) La biela se encuentra a 270°, el mecanismo se encuentra a 90° permitiendo el vaciado de la canasta.
- d) La biela se encuentra en 0°, ya con la canasta vacía el mecanismo la regresa a la superficie fija.

Figura 3. 48. Movimiento de mecanismo controlado por biela.

Se ocupó un microswitch como interruptor, determina cuando el mecanismo ha vaciado la canasta y la regresa a la superficie fija, figura 3.49.

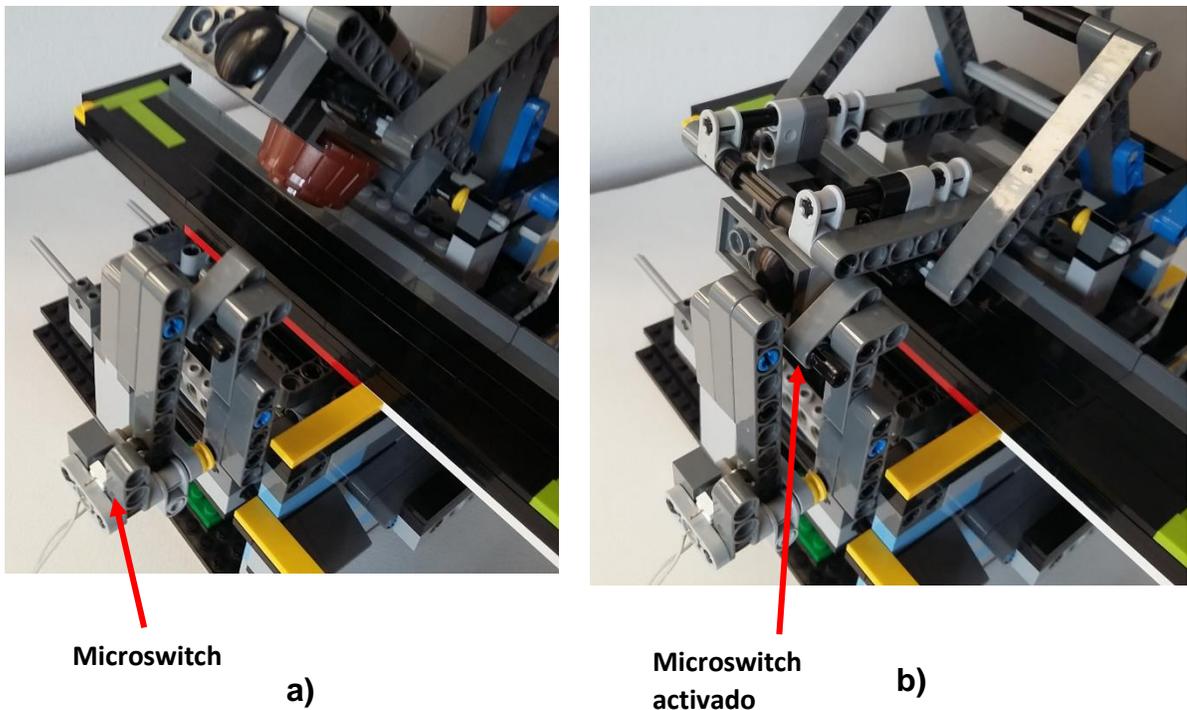


Figura 3. 49. a) Microswitch. b) Microswitch activado.

## 7. Segundo mecanismo retira canastas.

La idea de este mecanismo se tomó de Akiyuki [12] adaptándose a la necesidad del proceso.

### Especificaciones.

Altura	12 cm
Número de engranes de 8 dientes	4
Número de engranes de 12 dientes cónicos	1
Número de engranes de 12 dientes	2
Número de engranes de 24 dientes	4
Número de engranes de 40 dientes	3
Número de motores	1
Motor PF mediano	Velocidad 405 RPM; Torque 11 N*cm
Consumo de corriente de motor sin carga	47.3 mA
Consumo de corriente de motor con carga	74 mA
Número de sensores	1 Micro switch

Tabla 3. 7. Especificaciones de segundo mecanismo retira canastas.

Para que este mecanismo no dejara caer las canastas vacías por la velocidad con la que las retira se construyó un reductor de velocidad con dos engranes de 8 dientes y dos de 24 reduciendo la velocidad del motor de 405 RPM a 45 RPM como se muestra en la figura 3.50, de la flecha del engrane conducido de 24 dientes se generan los tres movimientos que contiene este mecanismo.

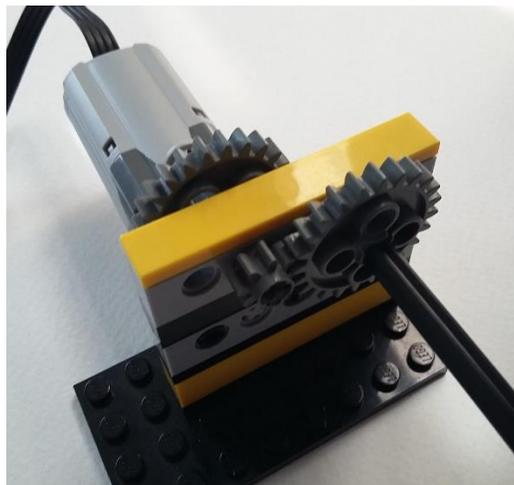


Figura 3. 50. Reductor de velocidad.

Construcción de los tres movimientos que lo componen:

1. Desplazamiento de la pinza.
2. Giro de 90° anti-horario y horario de pinza.
3. Ascenso y descenso de pinza.

## 1. Desplazamiento de la pinza.

Al inicio de la flecha del engrane conducido de 24 dientes se tiene un engrane cónico de 12 dientes que transmite el movimiento a una segunda flecha perpendicular. Esta contiene un engrane de 8 dientes que transmite el movimiento a uno de 40 reduciendo la velocidad a 9 RPM, figura 3.51.

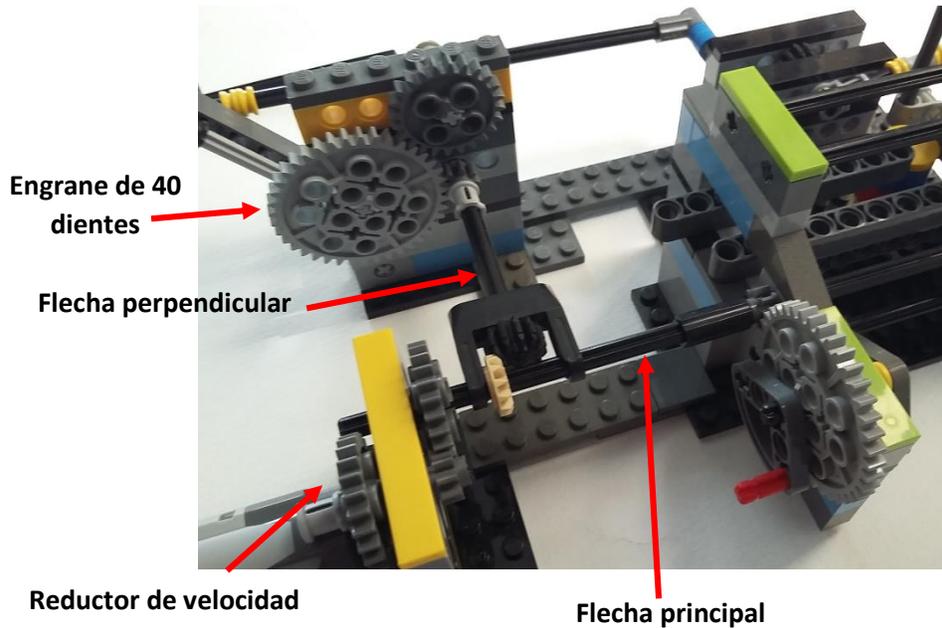


Figura 3. 51. Flecha perpendicular.

Sobre la flecha del engrane de 40 dientes se encuentra una biela en la cual se tiene una junta que sube y baja sobre un riel produciendo un movimiento de péndulo, figura 3.52.

Este movimiento de péndulo es transmitido por medio de una barra hacia un segundo péndulo que tiene en su flecha un engrane de 24 dientes, figura 3.53.

El engrane de 24 dientes hace contacto con uno de 12 (Figura 3.54), en su flecha hay un brazo que oscila de los 0° a los 180°, de modo que este brazo controla el desplazamiento de la pinza que se desliza sobre un par de rieles, figura 3.55.

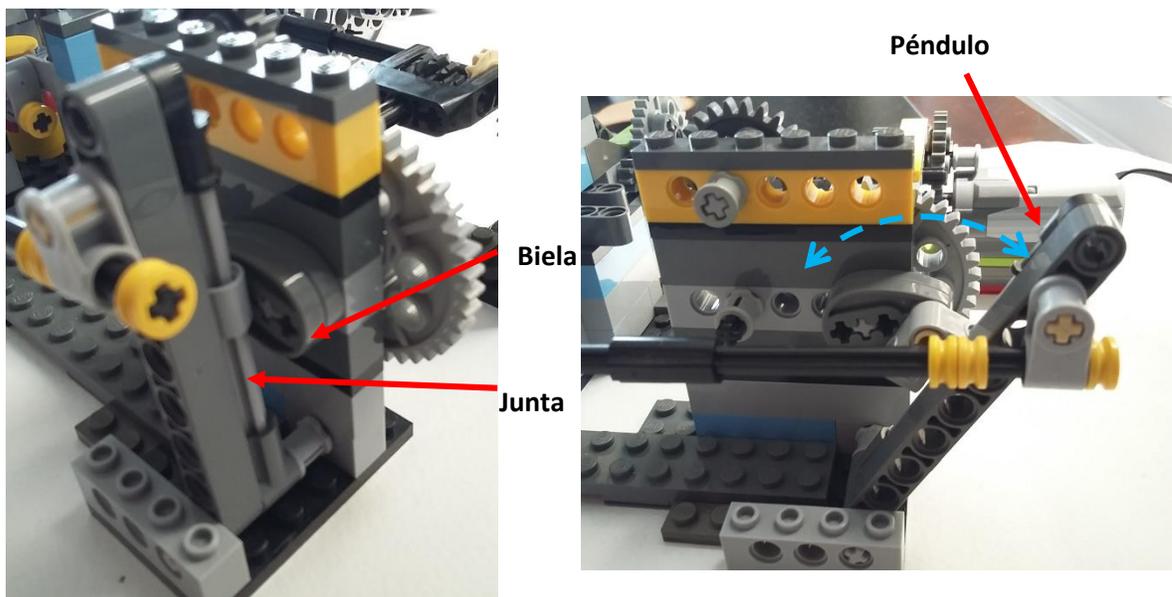


Figura 3. 52. Biela mueve la barra provocando movimiento de péndulo.

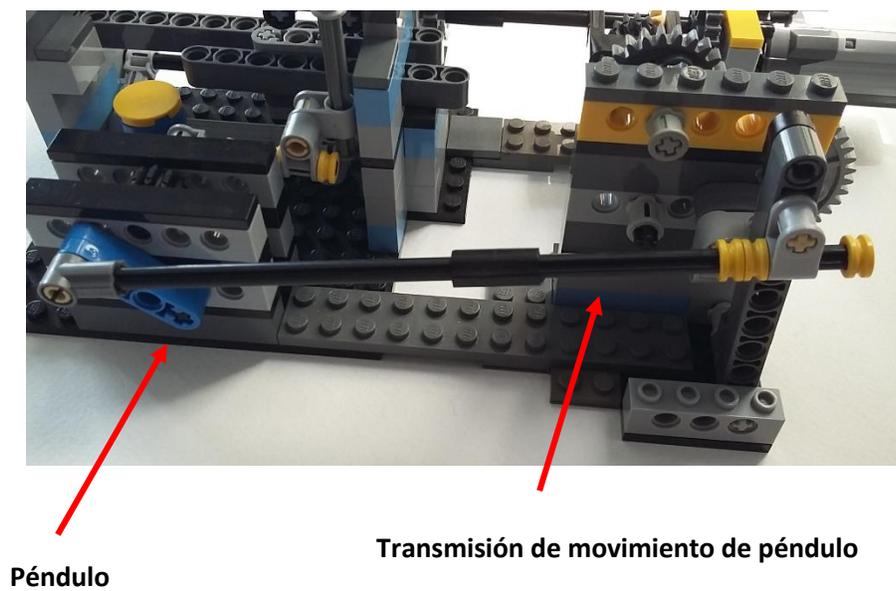


Figura 3. 53. Movimiento de péndulo transmitido.

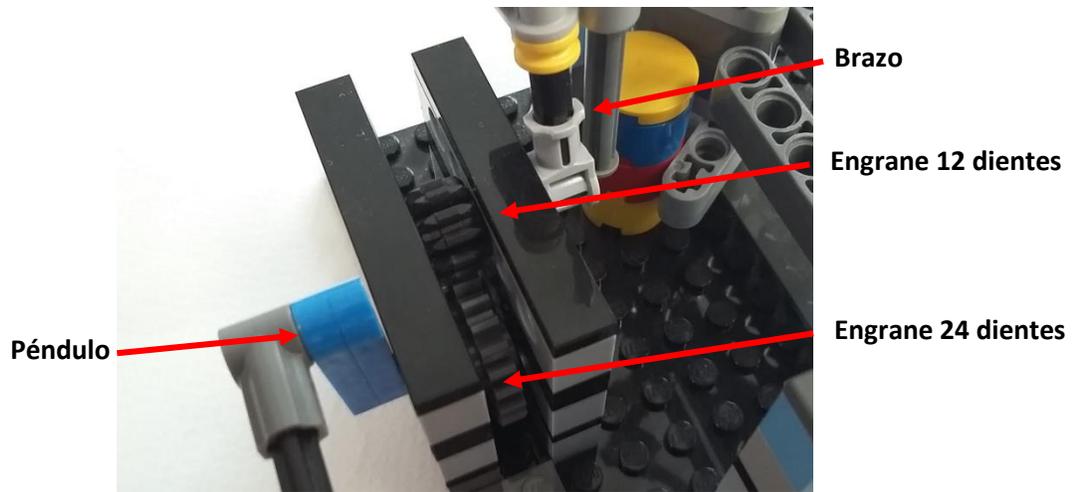


Figura 3. 54. Engranés de 24 y 12 dientes provocan movimiento oscilatorio de brazo.

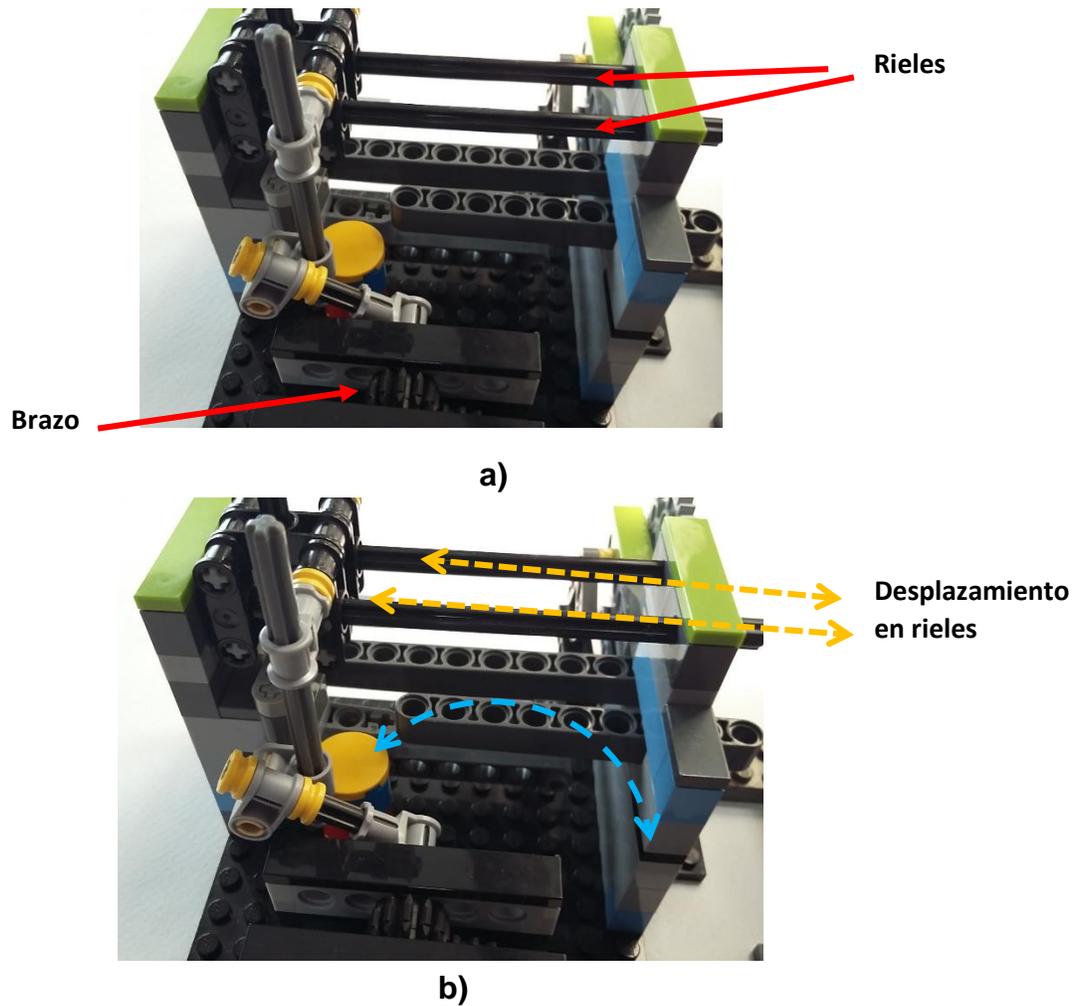


Figura 3. 55. a) Partes; brazo, rieles. b) Movimiento brazo 0° a 180°, desplazamiento en rieles.

## 2. Giro de 90° anti-horario y horario de pinza.

Se construyó un muelle bajo el par de rieles de deslizamiento, a manera que cuando la pinza se deslice haga contacto con el muelle y logre rotar 90°, figura 3.56.

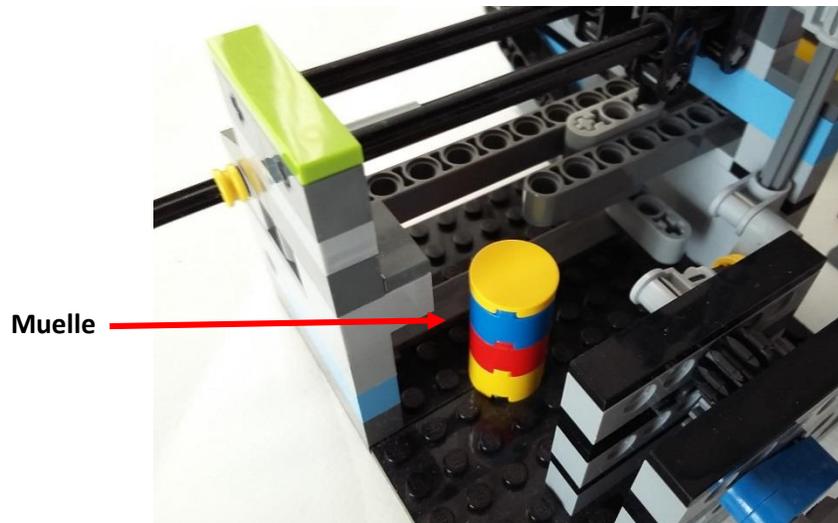


Figura 3. 56. Muelle bajo par de rieles.

Se construyó la parte inferior de la pinza para que rotara 90° al hacer contacto con el muelle, figura 3.57.

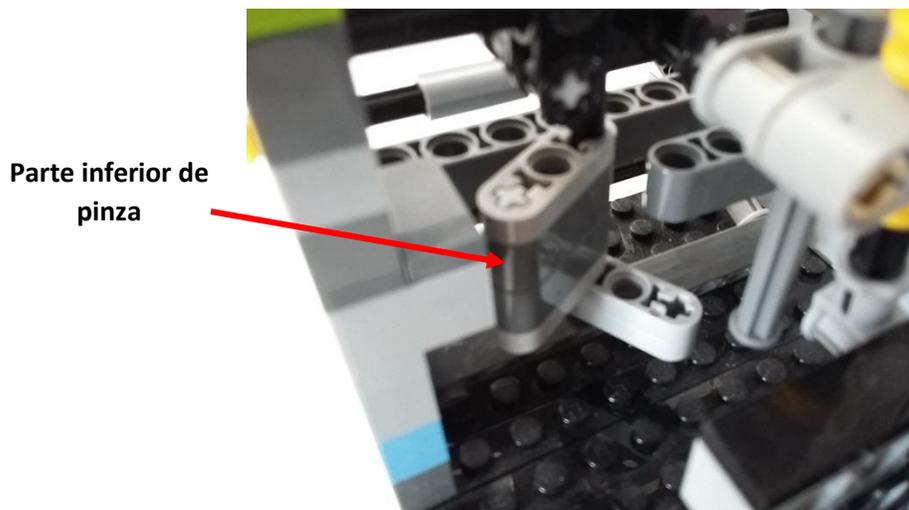
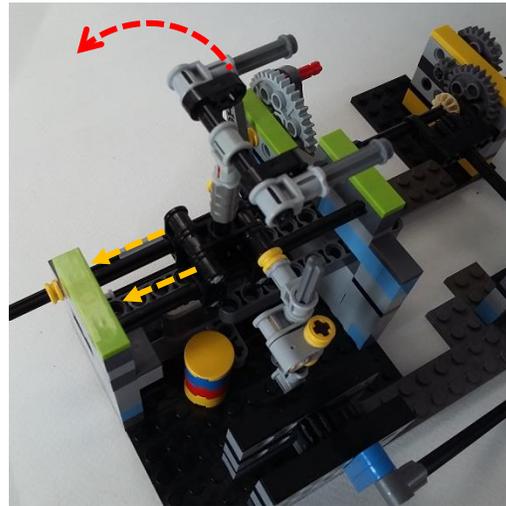


Figura 3. 57. Parte inferior de la pinza.

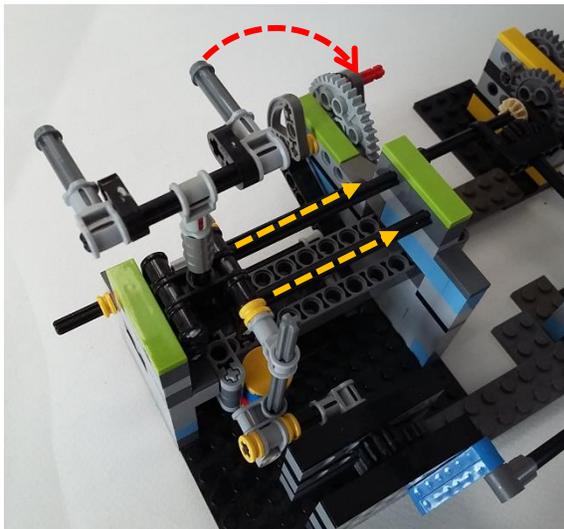
En la figura 3.58 se aprecia el movimiento de rotación de la pinza.



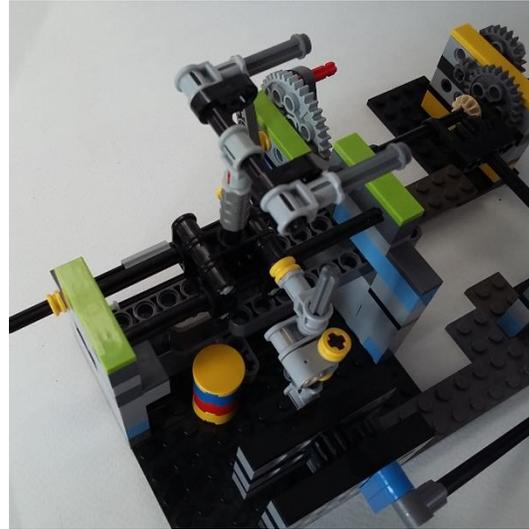
a)



b)



c)



d)

Figura 3. 58. Pinza. a) La pinza se encuentra en el extremo de los rieles. b) La pinza se desliza hacia la izquierda y la parte inferior hace contacto con el muelle permitiendo la rotación. c) La pinza ha rotado 90° anti-horario. d) Se repite el movimiento.

### 3. Ascenso y descenso de pinza.

Sobre la flecha principal del engrane conducido de 24 dientes se encuentra un engrane de 8 dientes que hace contacto con uno de 40 reduciendo la velocidad a 9 RPM, figura 3.59.

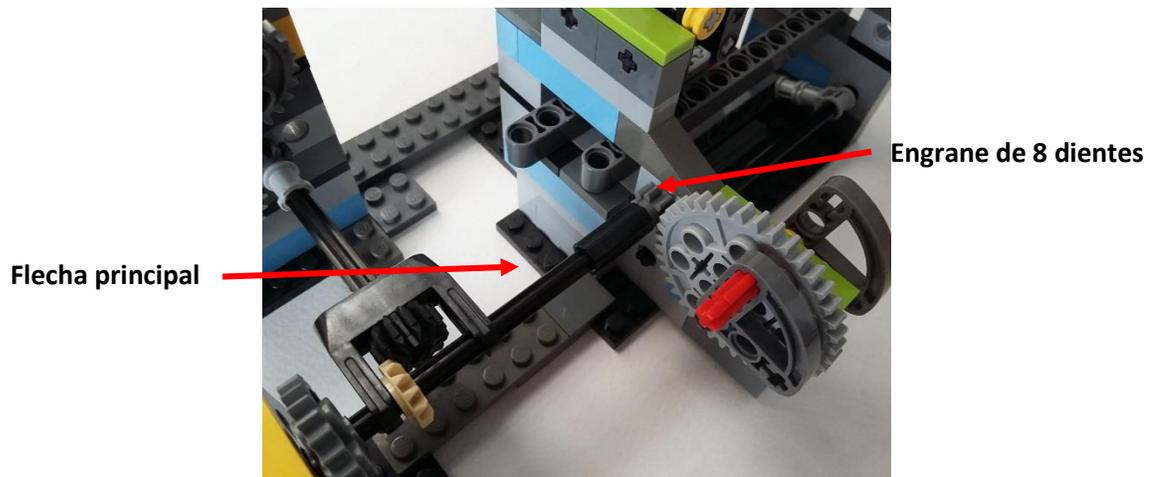


Figura 3. 59. Engrane de 8 dientes contenido en la flecha principal.

En un extremo de la flecha del engrane de 40 dientes se tiene un cuadrante que funciona como biela, figura 3.60.

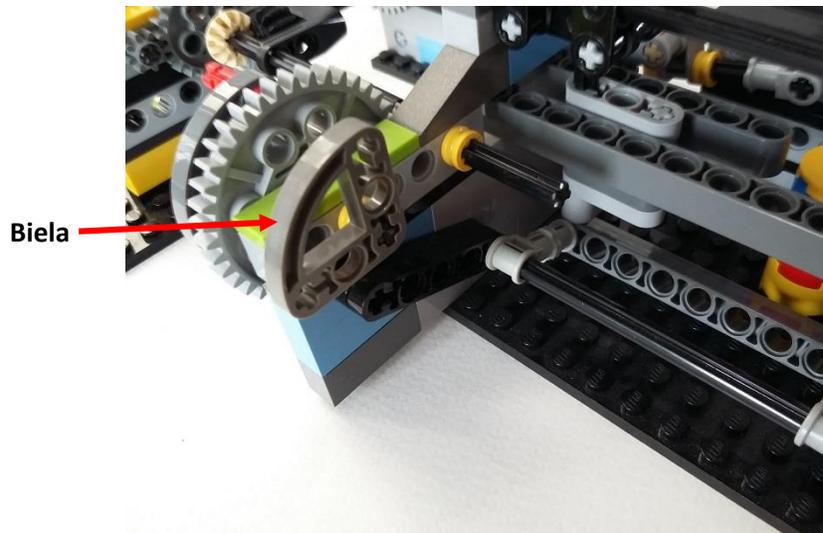


Figura 3. 60. Biela en forma de cuadrante.

Al girar la biela acciona una palanca, en la que descansa la pinza, esta palanca permite el ascenso y descenso de la pinza (Figura 3.61).

En la figura 3.62 se muestra el descenso y ascenso de la pinza por acción del giro de la biela.

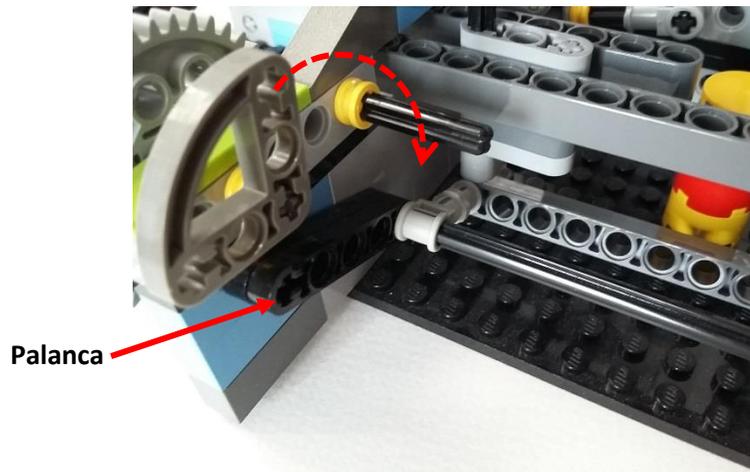


Figura 3. 61. Palanca.

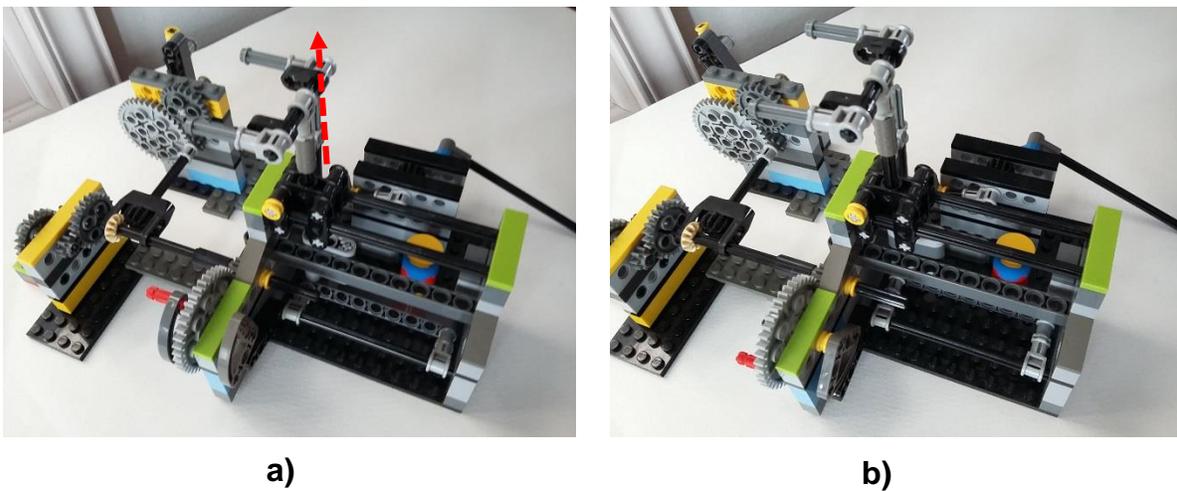


Figura 3. 62. a) Pinza en posición baja. b) Activación de palanca, pinza asciende.

Se ocupó un microswitch como interruptor que se encarga de determinar cuando la pinza ha dejado la canasta vacía en la segunda banda transportadora. Se instaló abajo de la flecha del engrane de 40 dientes que genera el movimiento de ascenso y descenso, ya que este es el último movimiento, (Figura 3.63).

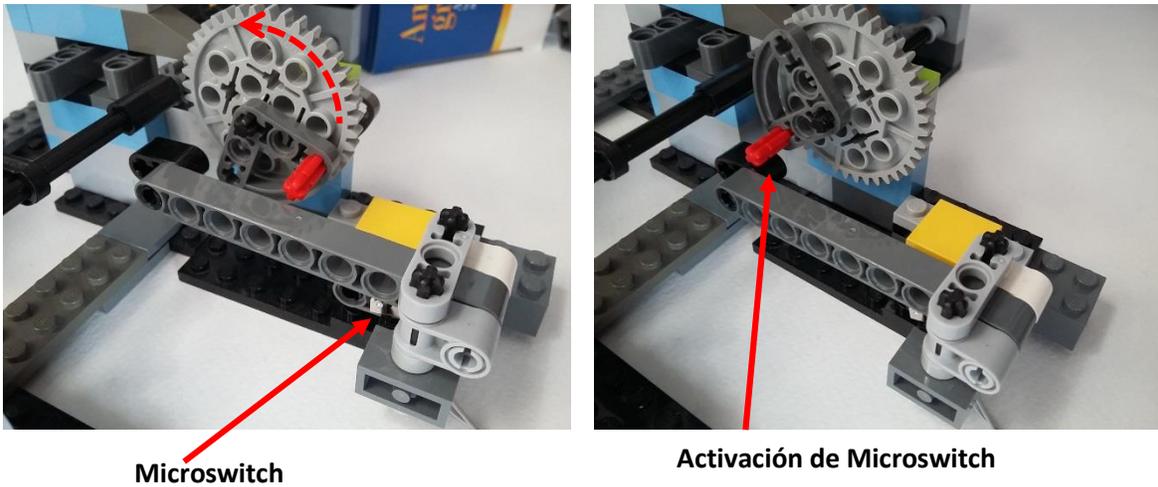


Figura 3. 63. Microswitch bajo flecha de engrane.

## 8. Segunda banda transportadora.

Especificaciones.

Altura	11cm
Número de engranes de 24 dientes	3
Número de engranes de 40 dientes	1
Número de motores	1
Motor PF mediano	Velocidad 405 RPM; Torque 11 N*cm
Consumo de corriente motor sin carga	47.3 mA
Consumo de corriente motor con carga	74 mA

Tabla 3. 8. Especificaciones de segunda banda transportadora.

Esta banda se construyó aprovechando el engrane de 40 dientes del movimiento de desplazamiento del mecanismo anterior. Se redujo la velocidad de 405 RPM a 9 RPM por medio de un engrane de 24 dientes y otro de 40, figura 3.64.



Figura 3. 64. Engrane de 24 y 40 dientes.

A la flecha del engrane de 40 dientes se tiene uno de 24 que se encarga del movimiento de la banda transportadora, figura 3.65.

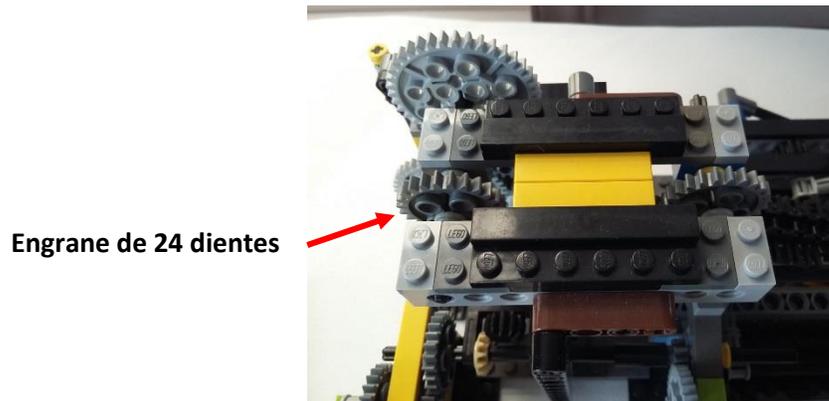


Figura 3. 65. Flecha de engrane de 40 dientes a engrane de 24.

Se procedió a colocar la banda como se muestra en la figura 3.66.

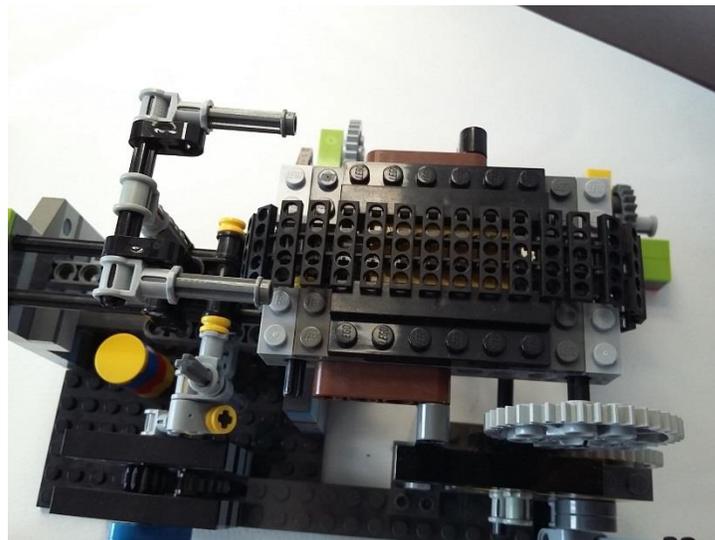


Figura 3. 66. Segunda banda transportadora.

## 9. Mecanismo de regreso.

Este mecanismo se tomó de Akiyuki [12] y se adaptó a las necesidades del proceso.

Especificaciones.

Altura	17cm
Número de engranes de 8 dientes	2
Número de engranes cónicos de 24 dientes	2
Número de engranes de 24 dientes	3
Número de engrane de 40 dientes	1
Número de motores	1
Motor PF mediano	Velocidad 504 RPM; Torque 11 N*cm
Consumo de corriente motor sin carga	49.2 mA
Consumo de corriente motor con carga	52 mA

Tabla 3. 9. Especificaciones de mecanismo de regreso.

Para que las esferas se colocaran dentro de los escalones de este mecanismo se requería una velocidad menor a 405 RPM, por lo que se construyó un reductor de velocidad con 2 engranes de 8 dientes, uno de 24 y uno de 40, calculando la velocidad de salida por medio de la ecuación (2), reduciendo así la velocidad de 405 RPM a 27 RPM como se muestra en la figura 3.67.

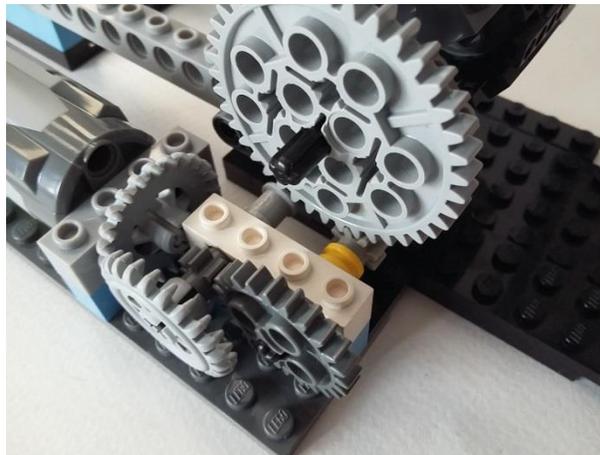


Figura 3. 67. Reductor de velocidad.

Es similar a una banda transportadora con la diferencia de que se encuentra a 45° por lo que se adaptaron a la banda algunos compartimentos para que las esferas pudieran colocarse ahí, figura 3.68.

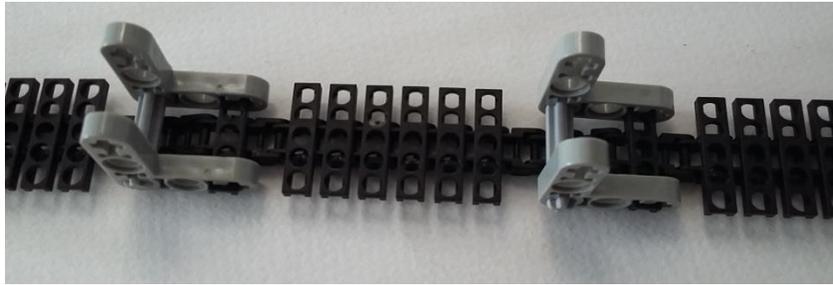


Figura 3. 68. Banda transportadora modificada.

El almacén donde descansa la banda transportadora, aprovecha la flecha del engrane de 40 dientes. Además, tiene otro de engrane de 24 dientes para mover la banda, figura 3.69.

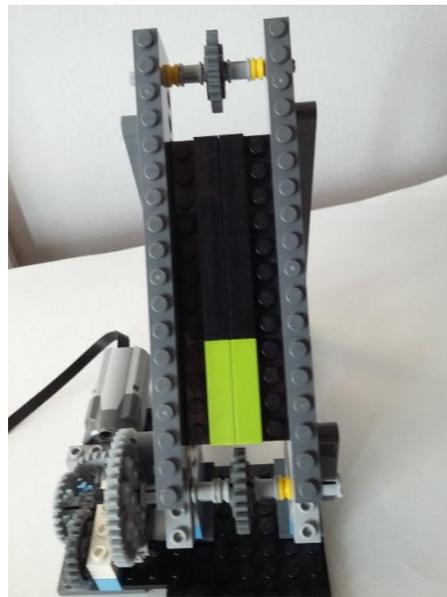


Figura 3. 69. Almacén de banda transportadora.

Se instaló la banda transportadora modificada, figura 3.70.

Las esferas llegan de un carril que viene desde la rampa de regreso del mecanismo de vaciado y se encuentra en la parte inferior de la primera banda transportadora como se muestra en la figura 3.71

Al subir por el mecanismo de regreso las esferas llegan al carril de inicio, figura 3.72.

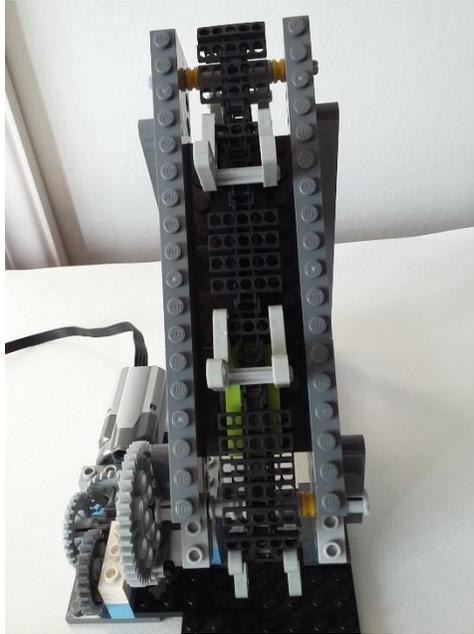
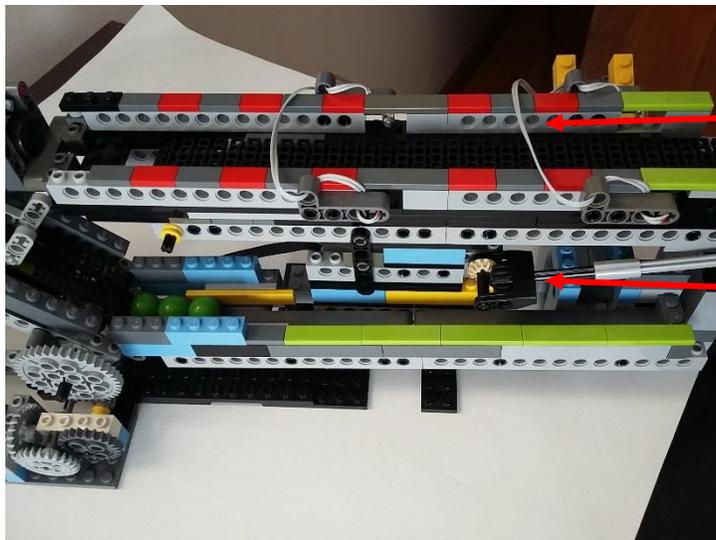


Figura 3. 70. Instalación de banda.



Primera banda transportadora

Carril

Figura 3. 71. Carril de regreso.



Figura 3. 72. Carril de inicio.

### 3.2 Construcción de base del modelo.

El modelo se encuentra sobre un cajón de 58 x 55.8 x 11.8 cm construido con MDF de 9 mm, figura 3.73., el cual fue diseñado para que en su interior se encontraran los circuitos electrónicos con la finalidad de que se ocultaran de cualquier riesgo de desconexión.

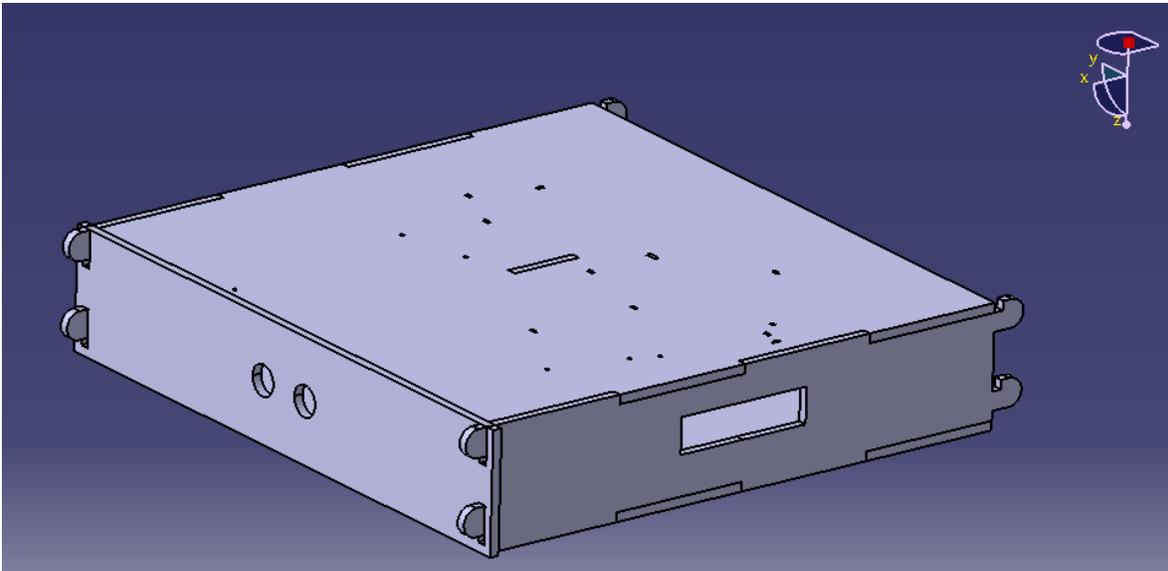


Figura 3. 73. Cajón/ base de modelo.

La tapa del cajón contiene orificios por donde se pasan los cables de los motores y los sensores. En el interior se encuentra una protoboard con los circuitos electrónicos. Se tiene acceso al interior a través de dos de las paredes del cajón que son móviles como se muestra en la figura 3.74.

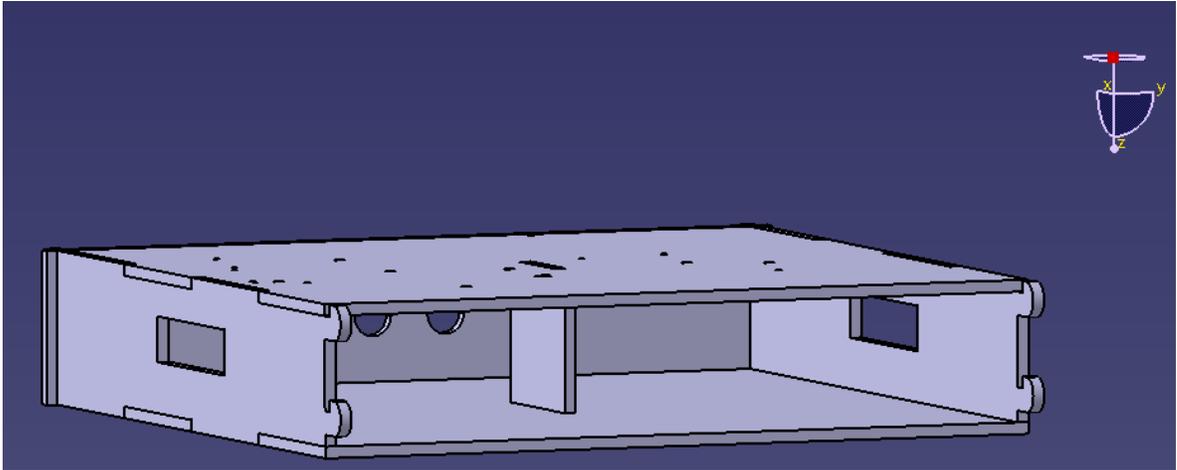


Figura 3. 74. Cajón/ Base sin una de las paredes.

Las partes de cajón se cortaron con LASER y se ensamblaron como se muestra en la figura 3.75.

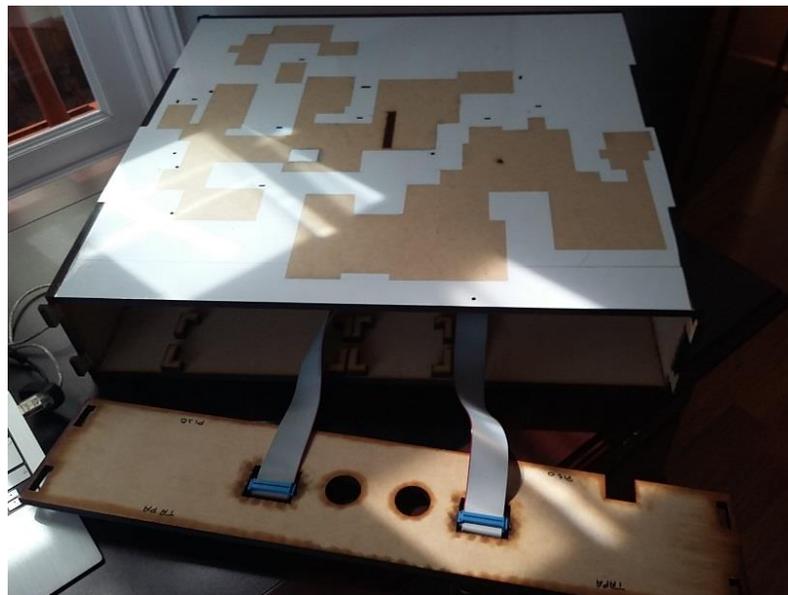


Figura 3. 75. Cajón/ Base.

### 3.3 Diagramas eléctricos.

El modelo contiene entradas y salidas tanto discretas como analógicas

<b>Entradas discretas</b>	<b>Entradas analógicas</b>
Microswitch	Sensor ultrasónico
Fotoeléctrico de barrera	Sensor fotoeléctrico

Tabla 3. 10. Entradas discretas y analógicas.

<b>Salidas discretas</b>	<b>Salidas analógicas</b>
Motor PF mediano	Motor PF mediano

Tabla 3. 11. Salidas discretas y analógicas.

Se alambraron los circuitos eléctricos de las entradas y salidas de la siguiente manera.

#### Entradas discretas

Microswitch.

Componentes que lo integran, figura 3.76:

- Microswitch, [13].
- Relevador Ras0510, Diagrama de conexión [14].
- Alimentación 5V.

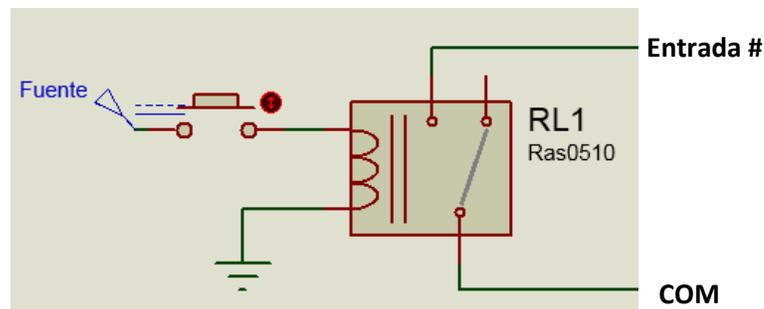


Figura 3. 76. Microswitch.

Sensor fotoeléctrico de barrera.

Componentes que lo integran, figura 3.77.

- LED infrarrojo, [15].
- Foto-transistor NPN TIL78, [16].
- Transistor BC547, [17].
- 1 resistencia de 220 ohms, [18].
- 1 resistencia de 10 kilohms, [18].
- Relevador de 5 Volts Ras 0510, [14].

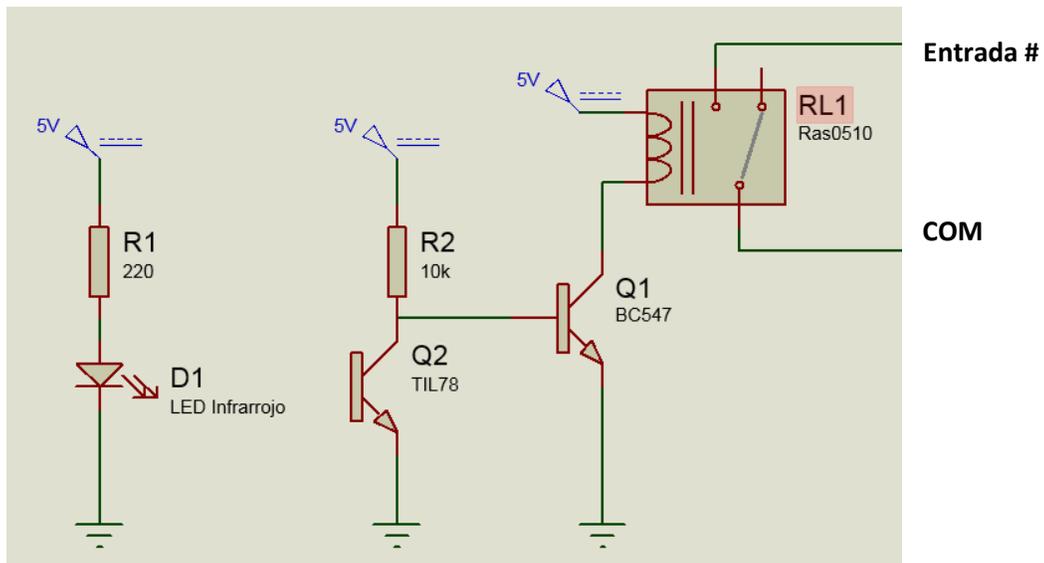


Figura 3. 77. Sensor fotoeléctrico de barrera.

### Entradas analógicas

Se acondicionó la señal de ambos sensores amplificándola mediante un AD623.

Sensor ultrasónico LV-MaxSonar®-EZ3

Componentes que lo integran, figura 3.78:

- Sensor ultrasónico LV-MaxSonar®-EZ3, [19].
- 1 capacitor 0.1  $\mu$ F, [20].
- 1 capacitor 10  $\mu$ F, [20].
- Amplificador operacional AD623, [21].
- Resistencia de 1.5 kilohms, [18].

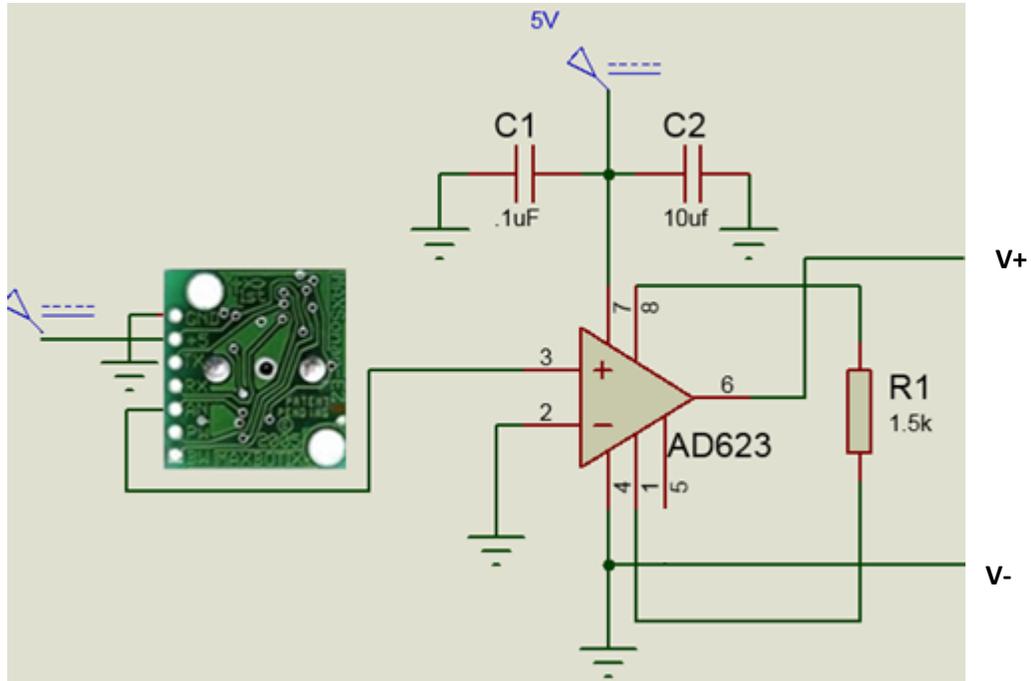


Figura 3. 78. Sensor ultrasónico Max-Sonar.

Sensor fotoeléctrico de reflexión difusa LilyPad Light Sensor.

Componentes que lo integran, figura 3.79:

- Sensor LilyPad Light sensor, [22].
- 1 capacitor 0.1  $\mu\text{F}$ , [20].
- 1 capacitor 10  $\mu\text{F}$ , [20].
- Amplificador operacional AD623, [21].
- Resistencia de 1.5 kilohms, [18].

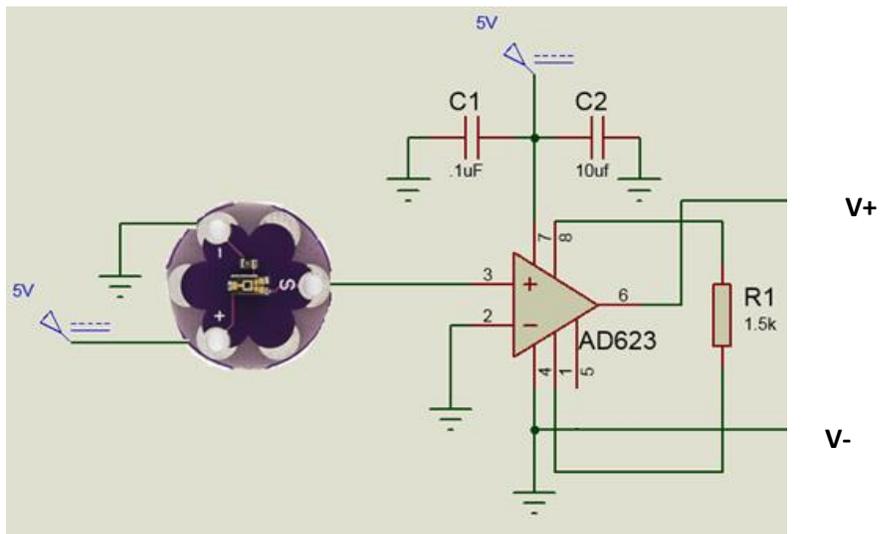


Figura 3. 79. Sensor LilyPad Light Sensor.

## Salidas Digitales.

Componentes que lo integran, figura 3.80:

- Motor PF mediano.
- Alimentación 9 volts.

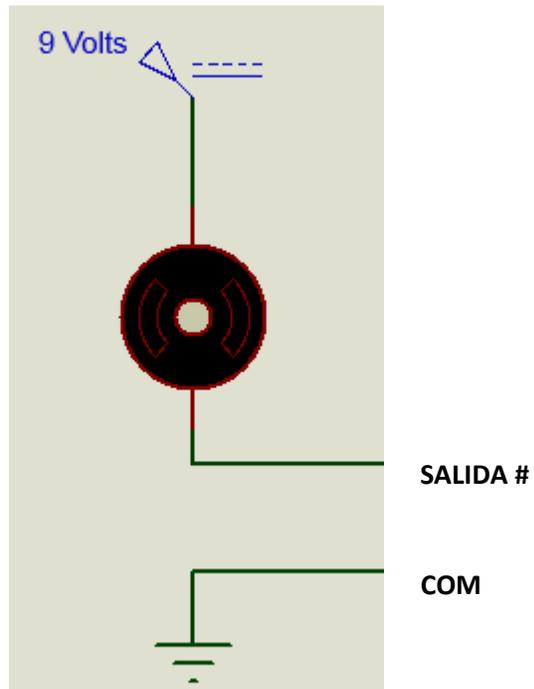


Figura 3. 80. Motor PF mediano.

## Salida analógica

Componentes que lo integran, figura 3.81.

- Amplificador operacional LM324, [23].
- Transistor 2N3904, [24].
- Motor PF mediano.
- Fuente de 9V.

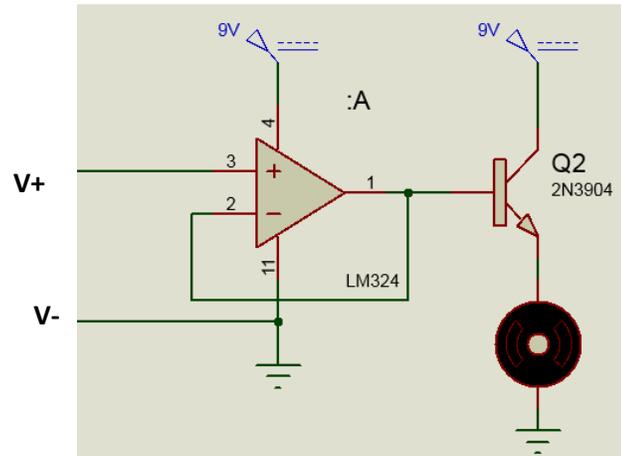


Figura 3. 81. Motor PF salida analógica.

### 3.4 Conexiones

Dentro de la base del modelo se encuentra una protoboard a la que se conectan los sensores y motores. Del lado derecho de la protoboard se conectan los sensores y del lado izquierdo los motores.

Dentro del modelo se tienen dos fuentes de alimentación diferentes: una de 9 Volts a 2 Amperes para los motores y otra de 5 Volts a 2 Amperes para los sensores.

Tanto los motores como los sensores se conectan a un conector DB25 macho, figura 3.82, por medio de dos cables planos de 26 hilos



Figura 3. 82. Conector DB25 macho.

El conector DB25 macho del lado izquierdo pertenece a los motores, mientras que el derecho a los sensores como se muestra en la figura 3.83, viendo el modelo desde la parte frontal.

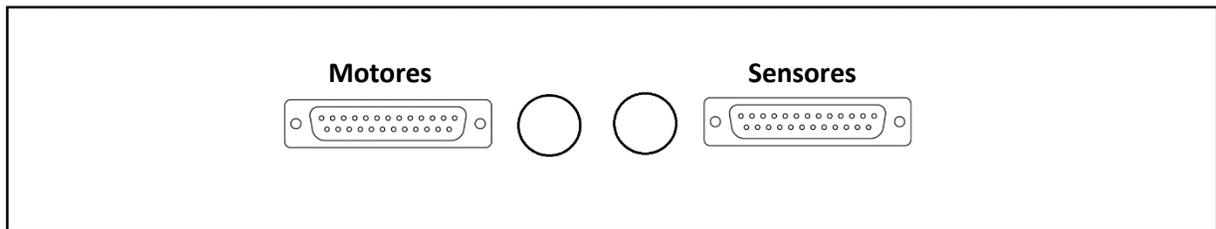


Figura 3. 83. Vista frontal de base del modelo.

El modelo se conecta con una bornera mediante dos cables DB25 macho-hembra, figura 3.84.



Figura 3. 84. Cable DB25 macho-hembra.

La bornera contiene dos protoboard, en una se encuentra el banco de relevadores de las entradas, así como los dos circuitos de acondicionamiento de las entradas analógicas y en la otra se encuentra el acondicionamiento de la salida analógica.

Las dos protoboard están conectadas por medio de dos cables planos de 26 hilos a dos conectores DB25 hembra figura 3.85.

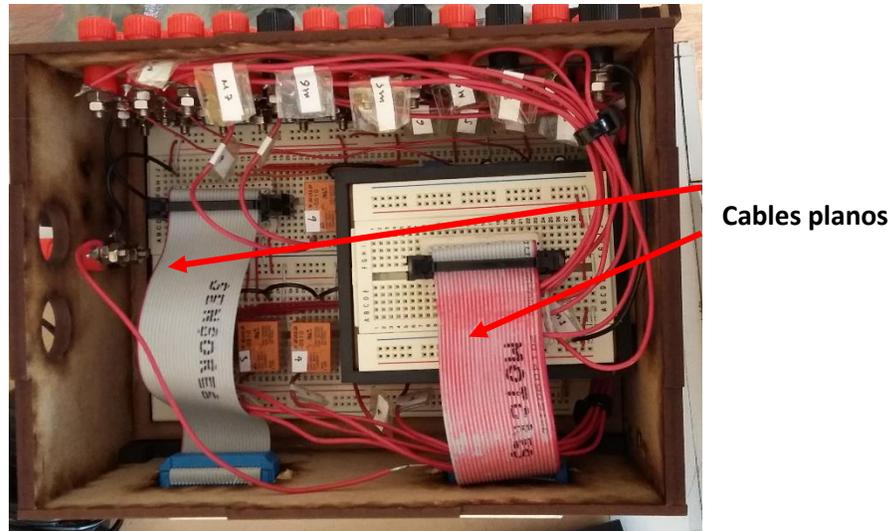


Figura 3. 85. Cables planos de 26 hilos correspondientes a sensores y motores.

El conector DB25 hembra del lado izquierdo pertenece a los sensores y el derecho a los motores viendo a la bornera desde la parte posterior, figura 3.86.

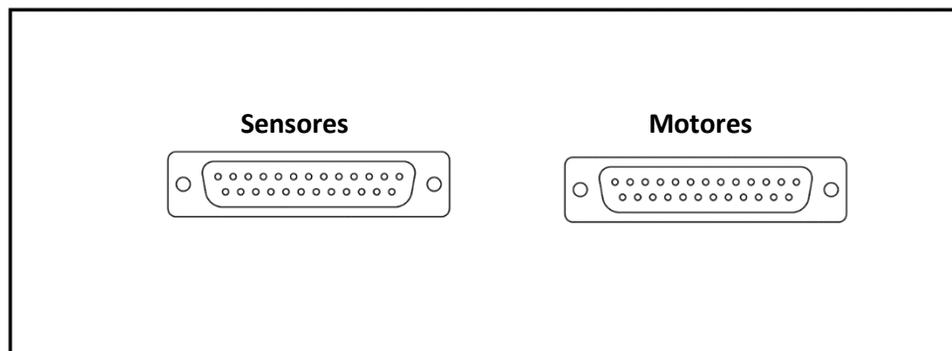


Figura 3. 86. Vista posterior de la bornera.

A continuación se dará una descripción de los elementos ocupados en las tablas de conexión de sensores y motores.

Descripción:

**Paro:** botón de paro de emergencia.

**Inicio:** botón de inicio.

**M.S. #:** Número de Micro Switch (del 1 al 6).

**S.F.B #:** Número de Sensor Fotoeléctrico de Barrera (1 y 2).

**S.U.:** Sensor Ultrasónico Maxsonar.

**S.F.:** Sensor Fotoeléctrico Lilypad light sensor.

**5V:** 5 Volts CC.

**GND:** Ground.

**M #:** Número de motor (del 1 al 8).

**M.A.:** Motor salida analógica.

**9 V:** alimentación 9 Volts CC.

**#PIN modelo:** Se refiere al número de pin del jumper. Se armaron jumpers, los cuales sirven para la interfaz del cable plano con la protoboard. Como se muestra en la figura 3.87.

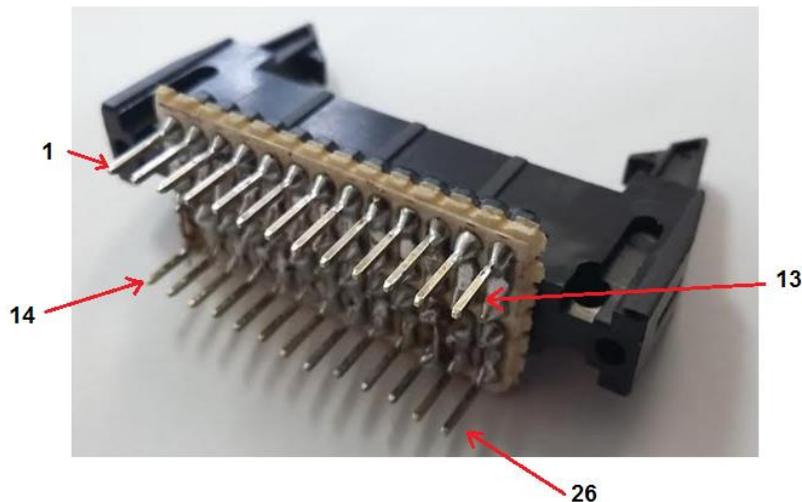


Figura 3. 87. Pines de jumper.

Para localizar el número de pin en el jumper se tomó de referencia la vista inferior del jumper con el cable plano hacia la parte superior como se muestra en la figura 3.88.

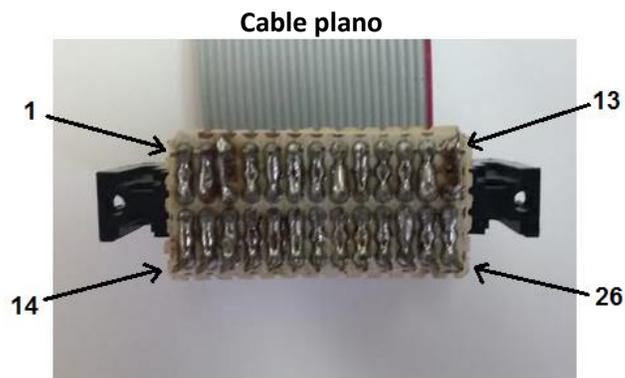


Figura 3. 88. Vista inferior de jumper, localización de pines.

Visto de perfil se localiza el pin 1 y 14 como se muestra en la figura 3.89.

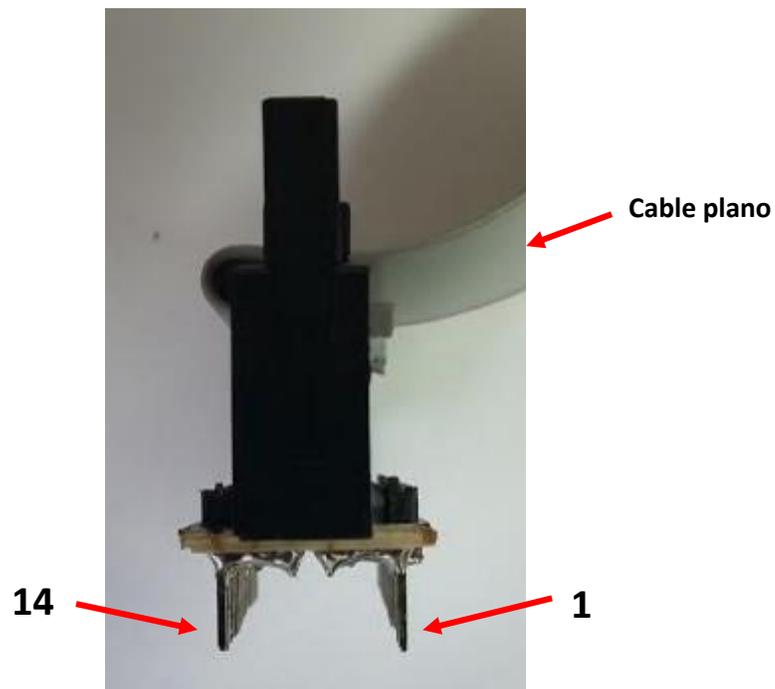


Figura 3. 89. Vista de perfil de jumper, localización de pines 1 y 14.

**# Protoboard modelo:** Se refiere al número de nodo en la protoboard dentro del modelo en donde se encuentra la conexión. # Der. Para lado derecho, # Izq. Para lado izquierdo. Figura 3.90.

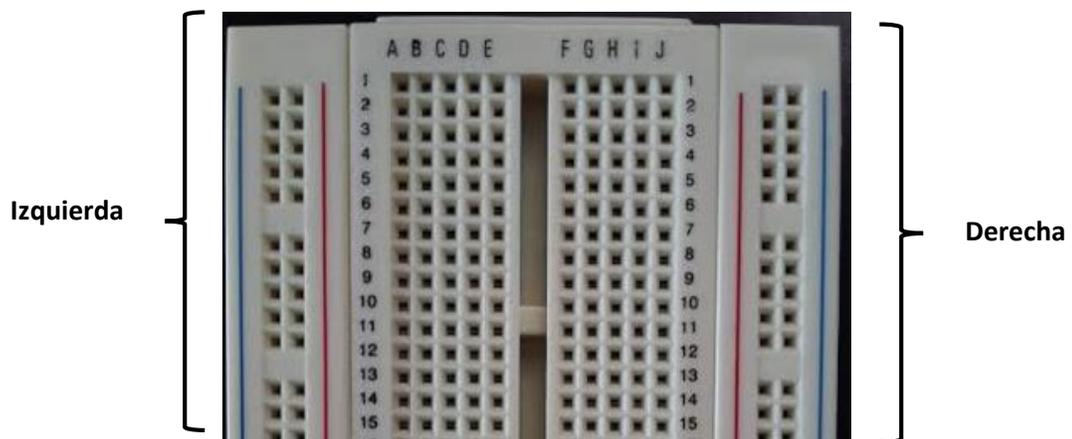


Figura 3. 90. Numeración de nodos de Protoboard derecha e izquierda.

# **DB25 Macho del modelo:** se refiere al número de pin en el conector DB25 macho derecho del modelo como se muestra la figura 3.91.

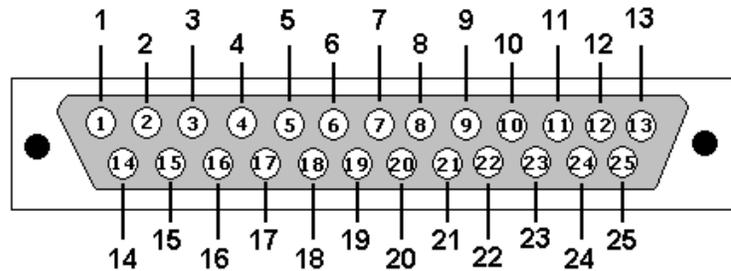


Figura 3. 91. Disposición de pines de conector DB25 macho.

# **DB25 Hembra de bornera:** se refiere al número de pin en el conector DB25 hembra izquierdo de la bornera. Figura 3.92.

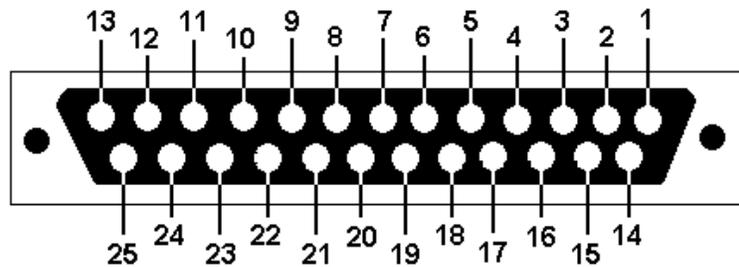


Figura 3. 92. Disposición de pines de conector DB25 hembra.

# **PIN bornera:** Al igual que el #PIN modelo, la bornera contiene jumpers y los pines se identifican de la misma manera que en los pines del modelo como se muestra en la figura 3.93.

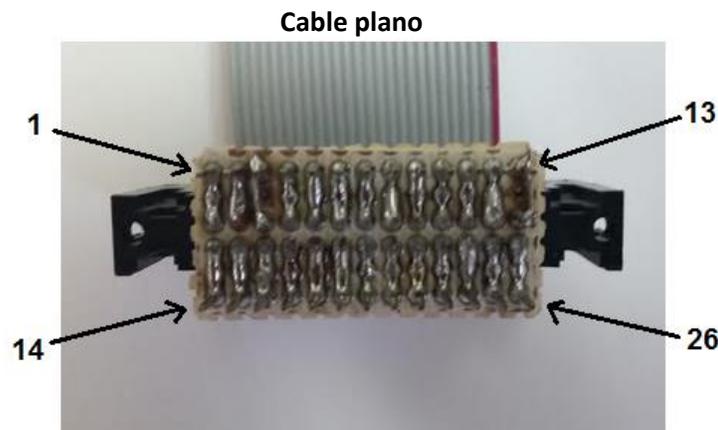


Figura 3. 93. Vista inferior de jumper, localización de pines.

**# Protoboard bornera.** Se refiere al número de nodo en la protoboard dentro de la bornera donde se encuentra la conexión; # Der. Para lado derecho, # Izq. Para lado izquierdo, figura 3.94.

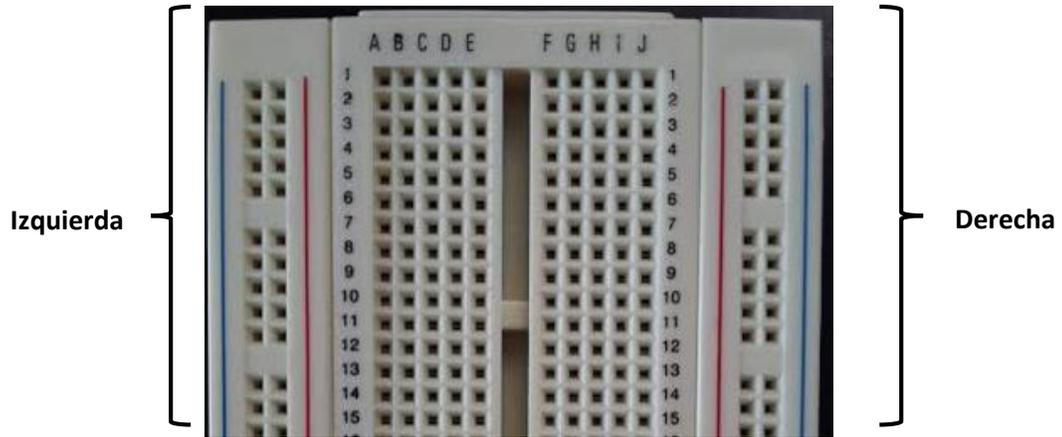


Figura 3. 94. Numeración de nodos de Protoboard derecha e izquierda.

### Conexiones de sensores.

En la siguiente tabla 3.12 se muestran las conexiones de los sensores del modelo a la bornera

	# PIN modelo	# Protoboard modelo	# DB25 Macho DERECHA del modelo	# DB25 Hembra IZQUIERDA de bornera	# PIN bornera	# protoboard bornera
-----	1	16 Der.	----	----	----	18 Izq.
5 V	2	15 Der.	14	14	13	17 Izq.
-----	3	14 Der.	15	15	12	16 Izq.
Paro	4	13 Der.	16	16	11	15 Izq.
Inicio	5	12 Der.	17	17	10	14 Izq.
M.S.6	6	11 Der.	18	18	9	13 Izq.
M.S.5	7	10 Der.	19	19	8	12 Izq.
M.S.4	8	9 Der.	20	20	7	11 Izq.
M.S.3	9	8 Der.	21	21	6	10 Izq.
-----	10	7 Der.	22	22	5	9 Izq.
M.S.2	11	6 Der.	23	23	4	8 Izq.
M.S.1	12	5 Der.	24	24	3	7 Izq.
-----	13	4 Der.	25	25	2	6 Izq.
S.F.B 1	14	16 Izq.	1	1	26	17 Der.
S.F.B 2	15	15 Izq.	2	2	25	16 Der.
-----	16	14 Izq.	3	3	24	15 Der.
S.U.	17	13 Izq.	4	4	23	14 Der.
----	18	12 Izq.	5	5	22	13 Der.
S.F.	19	11 Izq.	6	6	21	12 Der.
-----	20	10 Izq.	7	7	20	11 Der.
-----	21	9 Izq.	8	8	19	10 Der.
-----	22	8 Izq.	9	9	18	9 Der.
-----	23	7 Izq.	10	10	17	8 Der.
-----	24	6 Izq.	11	11	16	7 Der.
-----	25	5 Izq.	12	12	15	6 Der.
GND	26	4 Izq.	13	13	14	5 Der.

Tabla 3. 12. Conexiones de sensores modelo-bornera.

En la bornera se tiene 1 borne rojo para cada entrada discreta (en total 10) y 1 borne rojo para cada entrada analógica (2 en total) como se muestra en la figura 3.95., teniendo bornes negros en común para las entradas digitales y dos en común para las entradas analógicas.

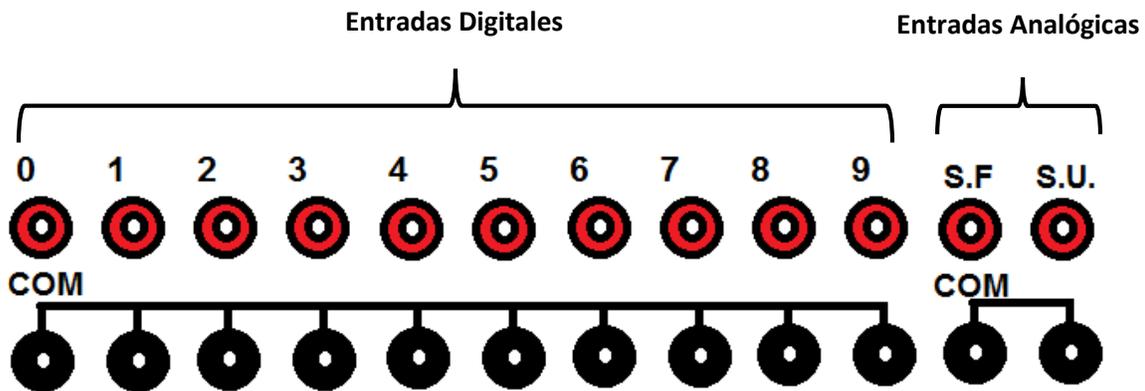


Figura 3. 95. Bornes para entradas discretas y analógicas.

Cada borne de las entradas discretas se conecta a un relevador Ras0510, mientras que las entradas analógicas se conectan a su respectivo acondicionamiento de señal. En la tabla 3.13 se muestra la conexión de los bornes.

Dispositivo	Borne	#Relevador Ras0510
M.S.1	0	1
M.S.2	1	2
M.S.3	2	3
M.S.4	3	4
M.S.5	4	5
M.S.6	5	6
Inicio	6	7
Paro	7	8
S.F.B.1	8	9
S.F.B.2	9	10
S.F.	S.F.	-----
S.U.	S.U.	-----

Tabla 3. 13. Conexión de bornes.

## Conexión de motores

En la siguiente tabla 3.14 se muestra la conexión de los motores del modelo a la bornera

	# PIN modelo	# Protoboard modelo	# DB25 Macho IZQUIERDO del modelo	# DB25 Hembra DERECHA de bornera	# PIN bornera	# protoboard bornera
GND	1	60 Der.	1	1	13	22 Izq.
M1	2	59 Der.	2	2	12	21 Izq.
M2	3	58 Der.	3	3	11	20 Izq.
M3	4	57 Der.	4	4	10	19 Izq.
M4	5	56 Der.	5	5	9	18 Izq.
M5	6	55 Der.	6	6	8	17 Izq.
M6	7	54 Der.	7	7	7	16 Izq.
M7	8	53 Der.	8	8	6	15 Izq.
M8	9	52 Der.	9	9	5	14 Izq.
9V	10	51 Der.	10	10	4	13 Izq.
-----	11	50 Der.	11	11	3	12 Izq.
M.A.	12	49 Der.	12	12	2	11 Izq.
-----	13	48 Der.	13	13	1	10 Izq.
-----	14	60 Izq.	14	14	25	21 Der.
-----	15	59 Izq.	15	15	24	20 Der.
-----	16	58 Izq.	16	16	23	19 Der.
-----	17	57 Izq.	17	17	22	18 Der.
-----	18	56 Izq.	18	18	21	17 Der.
-----	19	55 Izq.	19	19	20	16 Der.
-----	20	54 Izq.	20	20	19	15 Der.
-----	21	53 Izq.	21	21	18	14 Der.
-----	22	52 Izq.	22	22	17	13 Der.
-----	23	51 Izq.	23	23	16	12 Der.
-----	24	50 Izq.	24	24	15	11 Der.
-----	25	49 Izq.	25	25	14	10 Der.
-----	26	48 Izq.	26	26		

Tabla 3. 14. Conexiones de motores modelo-bornera.

En la bornera se tiene un borne rojo para cada salida discreta, en total 8 y un borne rojo correspondiente a la salida analógica, teniendo bornes negros en común a las salidas discretas. Figura 3.96.

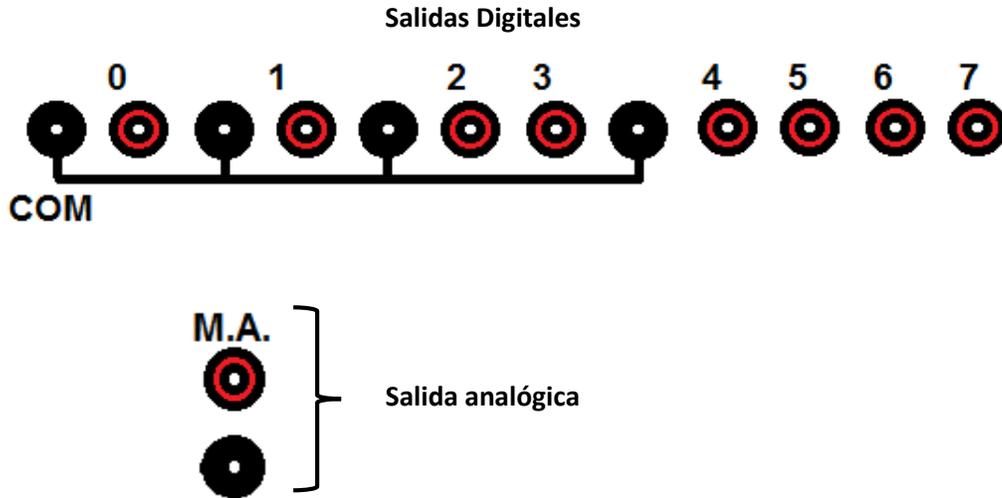


Figura 3. 96. Bornes para salidas digitales y analógicas.

En la pared frontal se tienen tanto los bornes de las salidas como las entradas, figura 3.97.

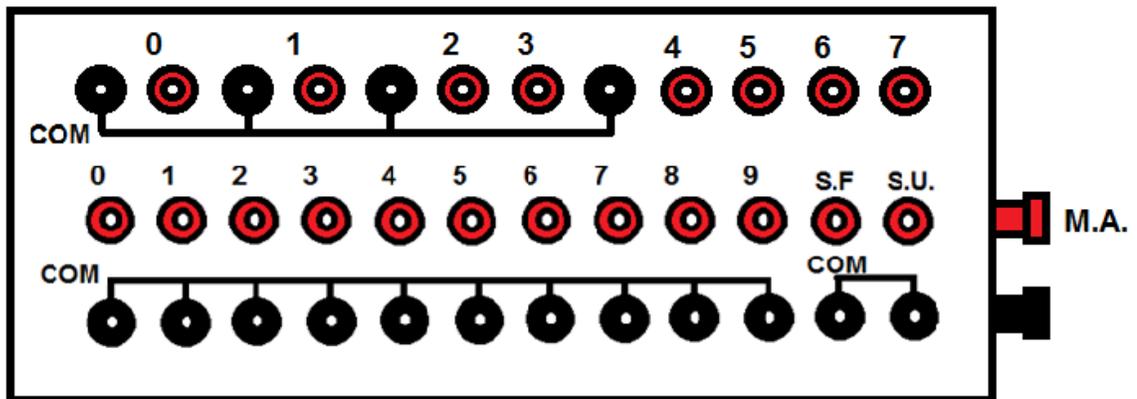


Figura 3. 97. Disposición de bornes en pared frontal de bornera.

## Capítulo 4. Ajustes y mantenimiento.

### 4.1 Funcionamiento de modelo.

#### 4.1.1 Condiciones de uso

Para el buen funcionamiento del modelo se requiere tomar algunas medidas antes, durante y al final del proceso, las cuales se citarán a continuación:

#### Sensor LilyPad Light Sensor

En el caso de que el sensor LilyPad Light Sensor no esté detectando el cambio entre un color y otro, se tiene que ajustar moderadamente el ángulo de los LED que se encuentran en la parte superior del mecanismo levadizo, moviendo el LED 1 de arriba hacia abajo y el LED 2 de izquierda a derecha. Como se muestra en la figura 4.1.

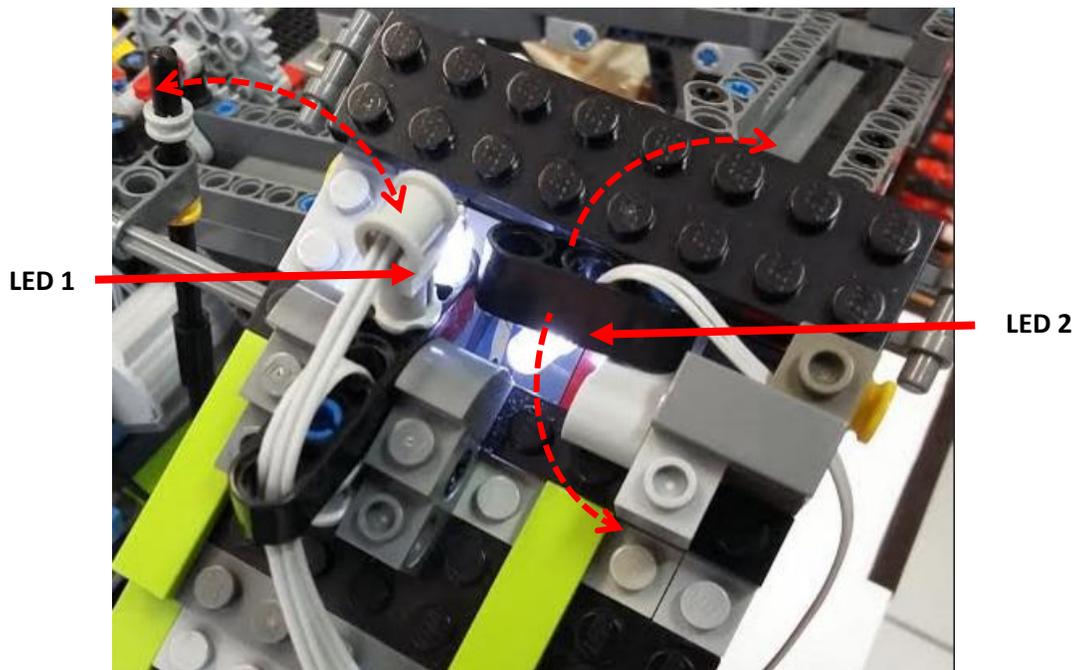


Figura 4. 1. Ajuste de LED para detección de color.

#### Sincronía de Paletas

Es importante que las paletas del mecanismo levadizo se encuentren sincronizadas, de otro modo puede que choquen entre si forzando los engranes y aumentando el riesgo de ruptura o desgaste de dientes, se deben mantener vigiladas mientras funcionan.

Si alguna de las 6 paletas no estuviera en sincronía con las restantes (Figura 4.2), seguir los siguientes pasos para su sincronización:

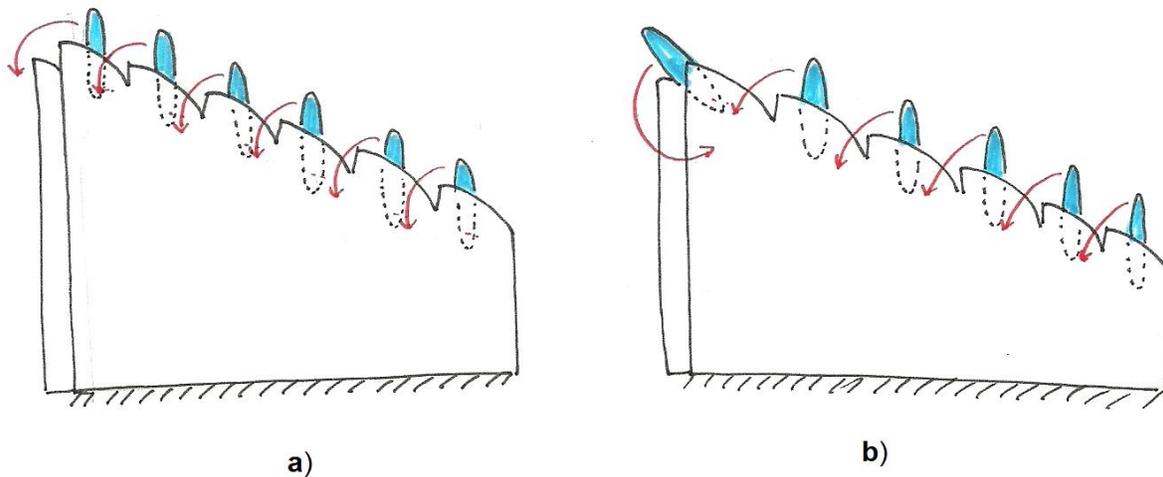


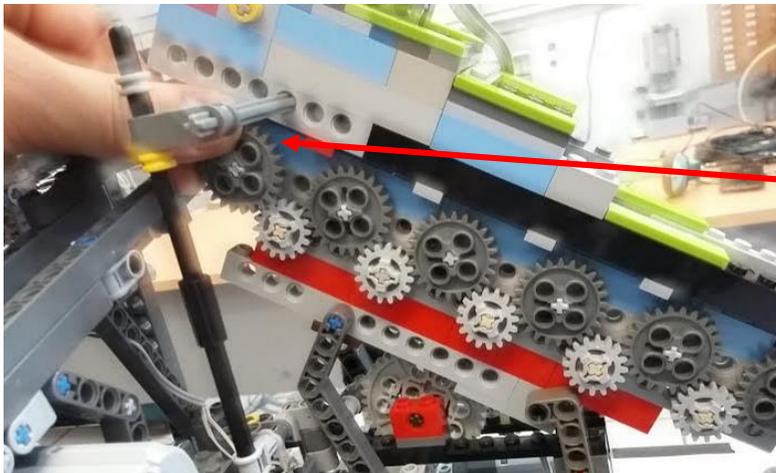
Figura 4. 2. Simplificación de mecanismo levadizo vista lateral. a) paletas sincronizadas. b) paleta superior desincronizada.

Primero se tiene que identificar cuál paleta o paletas están desincronizadas, a la flecha de cada engrane de 24 dientes (Figura 4.3) se encuentra conectada una paleta.



Figura 4. 3. Engranes de 24 dientes, con paleta en su flecha.

Una vez identificadas la paleta o paletas desincronizadas se tiene que desacoplar el engrane correspondiente de modo que no haga contacto con los engranes de 20 dientes como se muestra en la figura 4.4.



**Desacople de engrane de 24 dientes**

Figura 4. 4. Desacople del engrane que contiene la paleta desincronizada.

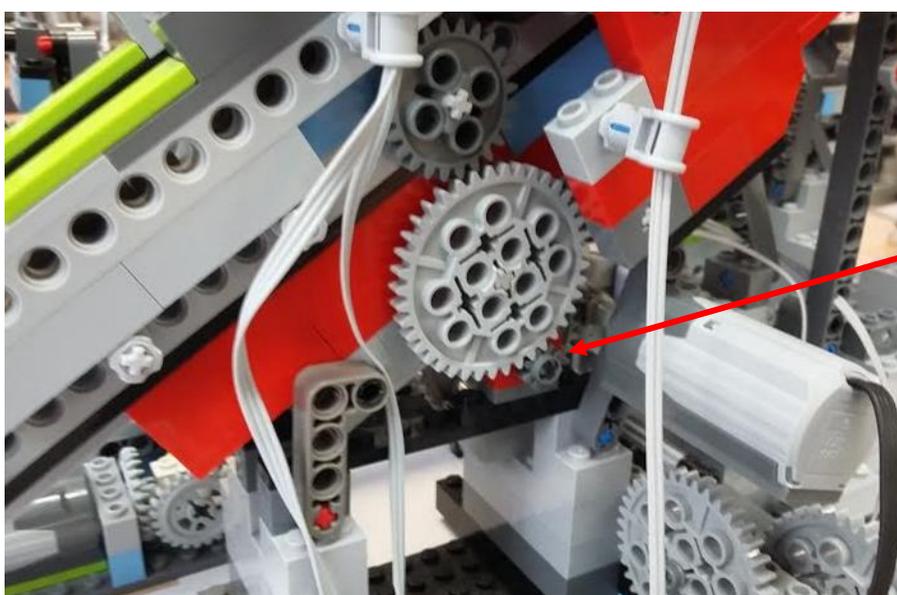
Al no estar en contacto el engrane de 24 dientes correspondiente con los engranes de 20 dientes se vuelve un engrane independiente y se puede girar hasta que la paleta se alinee con las restantes.

Cuando todas las paletas se encuentren alineadas, el engrane de 24 dientes correspondiente se vuelve a acoplar para hacer contacto con los de 20 dientes.

#### **Verificar alineación de paletas**

Para verificar que todas las paletas tienen la misma alineación se deben seguir los siguientes pasos:

Del lado contrario del mecanismo levadizo se encuentra un engrane de 8 dientes en contacto con uno de 40 (Figura 4.5), pertenece al reductor de velocidad.



**Engrane de 8 dientes**

Figura 4. 5. Vista contraria del mecanismo levadizo.

Una vez identificado este engrane, se tiene que retirar de su flecha como se muestra en la figura 4.6.

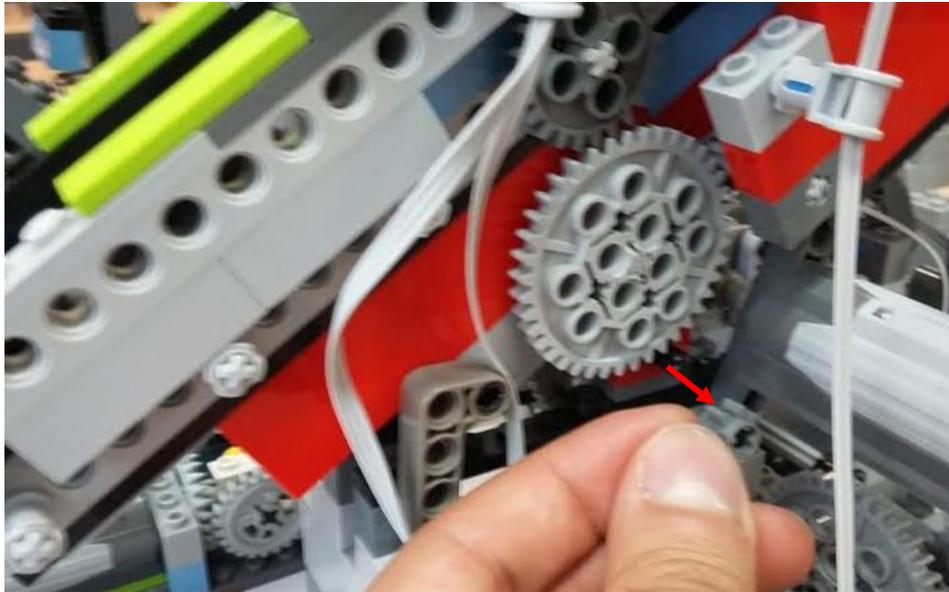


Figura 4. 6. Retirar engrane de 8 dientes.

Se procede a girar el engrane de 40 dientes de forma manual en sentido anti-horario (Figura 4.7), esto provocará que las paletas giren en sentido horario, es entonces cuando se tiene que verificar que todas las paletas se encuentran en sincronía, de no ser así se tiene que hacer la sincronía de paletas y verificar su alineación nuevamente.

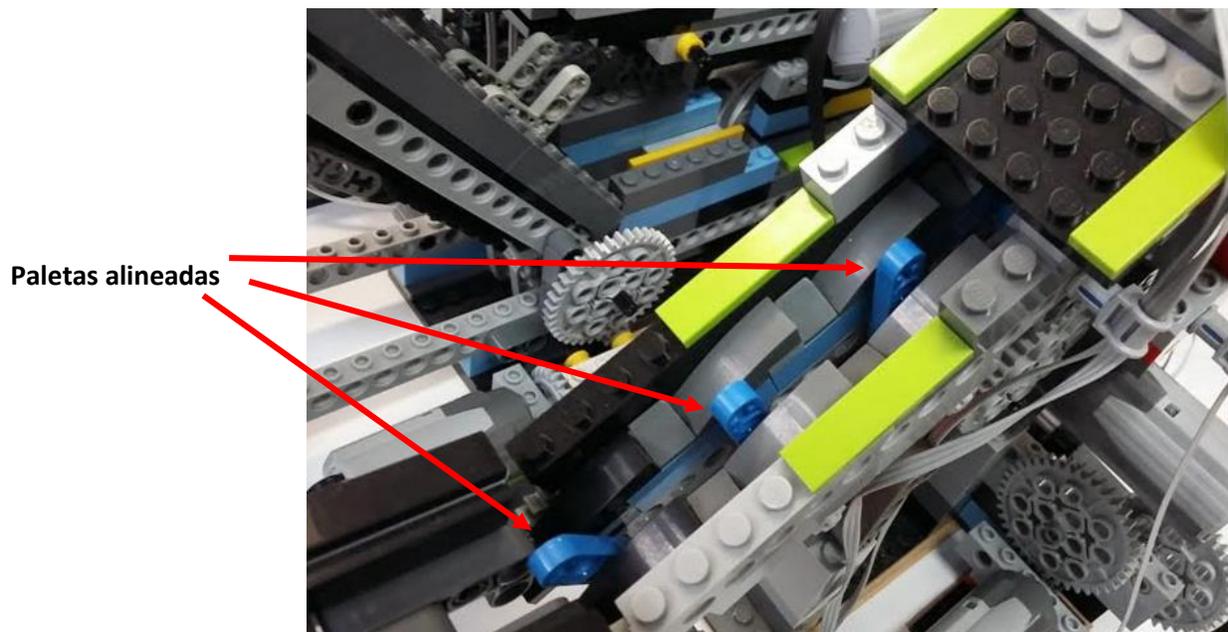
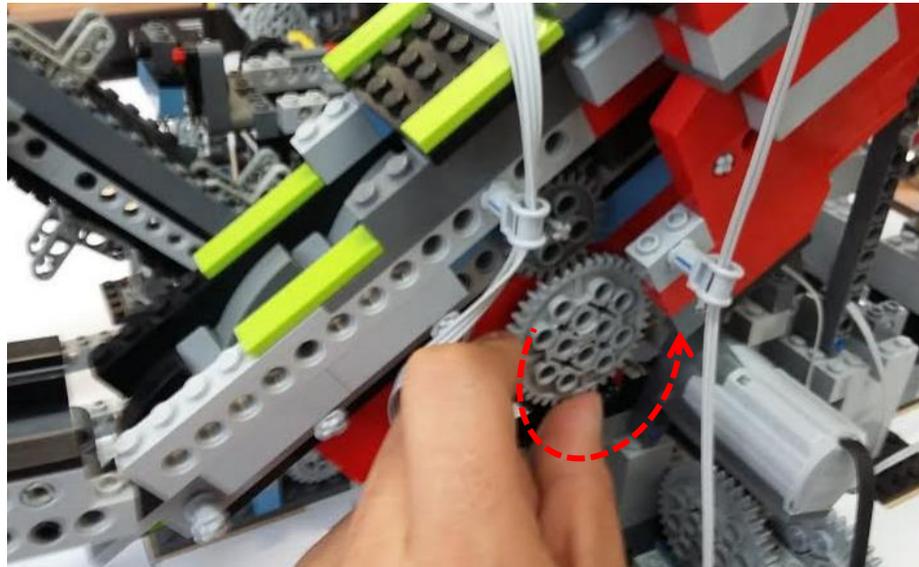


Figura 4. 7. Verificar alineación de paletas.

Cuando todas las paletas se encuentren alineadas, colocar el engrane de 8 dientes en su flecha y en contacto con el engrane de 40 dientes (Figura 4.8).

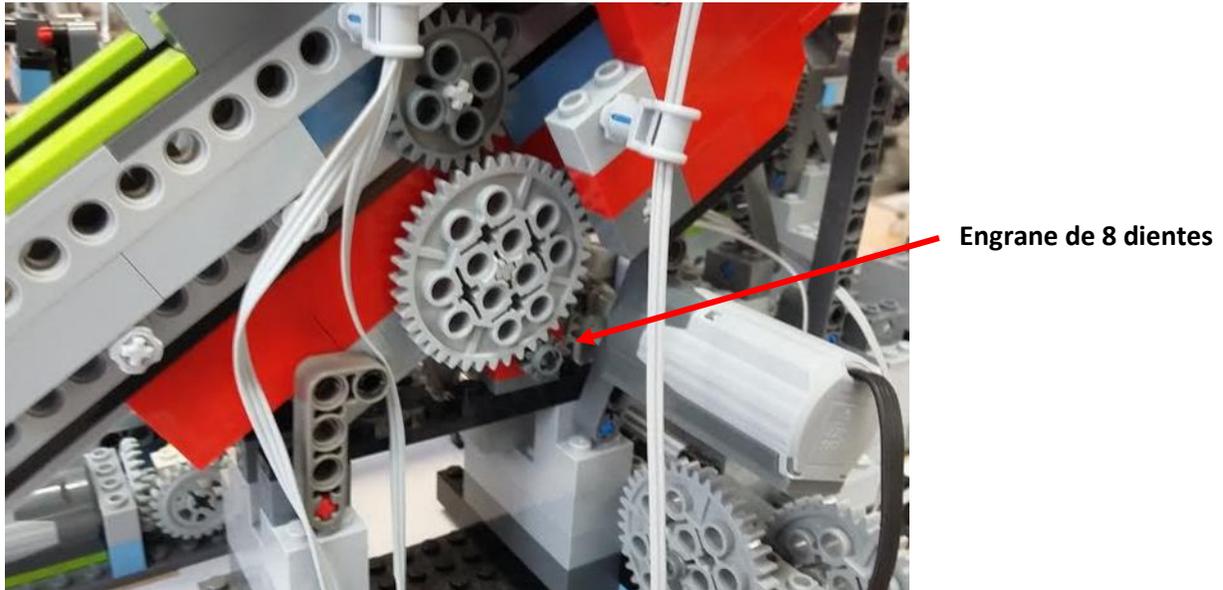


Figura 4. 8. Engrane de 8 dientes nuevamente colocado.

#### **Mecanismo separador / Mecanismo levadizo: Riesgo de colisión**

Es **MUY** importante que la barra del mecanismo separador que empuja las esferas de un carril a otro, quede completamente retraída mientras las paletas del mecanismo levadizo se encuentran girando. De otro modo, las paletas chocarán con la barra y puede que la barra llegue a romperse o en el peor de los casos forzar y quemar los motores (Figura 4.9).

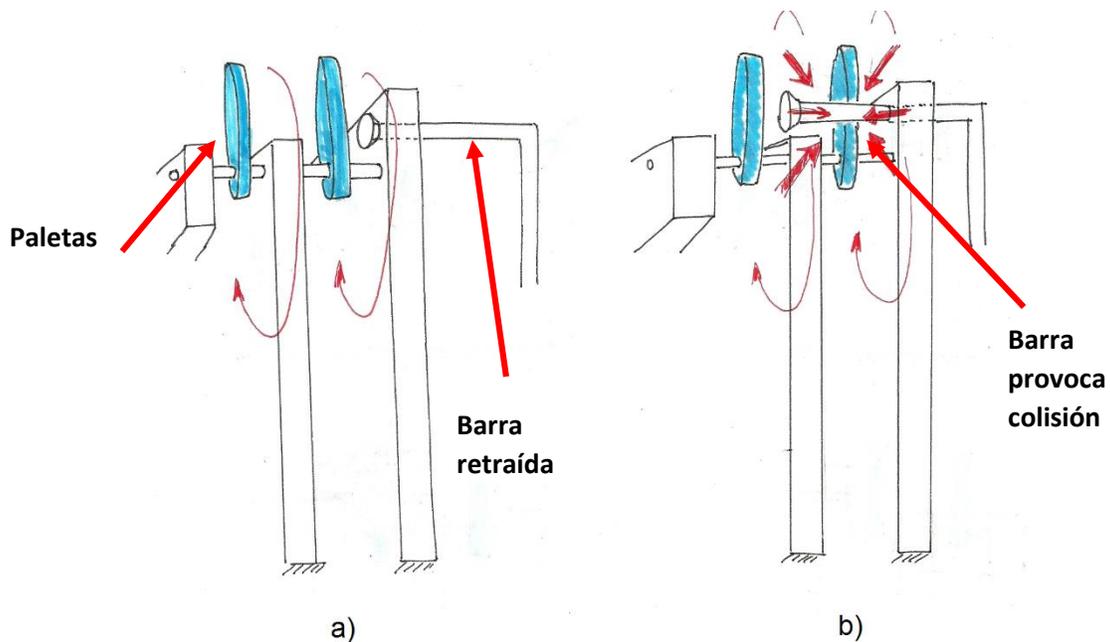


Figura 4. 9. Simplificación de mecanismo levadizo, vista frontal. a) Barra retraída, paletas giran libremente. b) Barra se interpone en el giro de paletas provocando colisión.

Si el microswitch 1, que se encuentra en la parte inferior del mecanismo levadizo (Figura 4.10) se encuentra activado significa que la barra se encuentra completamente retraída y que no interferirá con el giro de las paletas. Si el microswitch 1 no se encuentra activado al inicio del proceso se tienen que seguir los siguientes pasos para la activación mecánica del microswitch 1 y así asegurar que no habrá colisión entre paletas y barra.

**IMPORTANTE: El microswitch 1 siempre debe estar activado al principio del proceso**

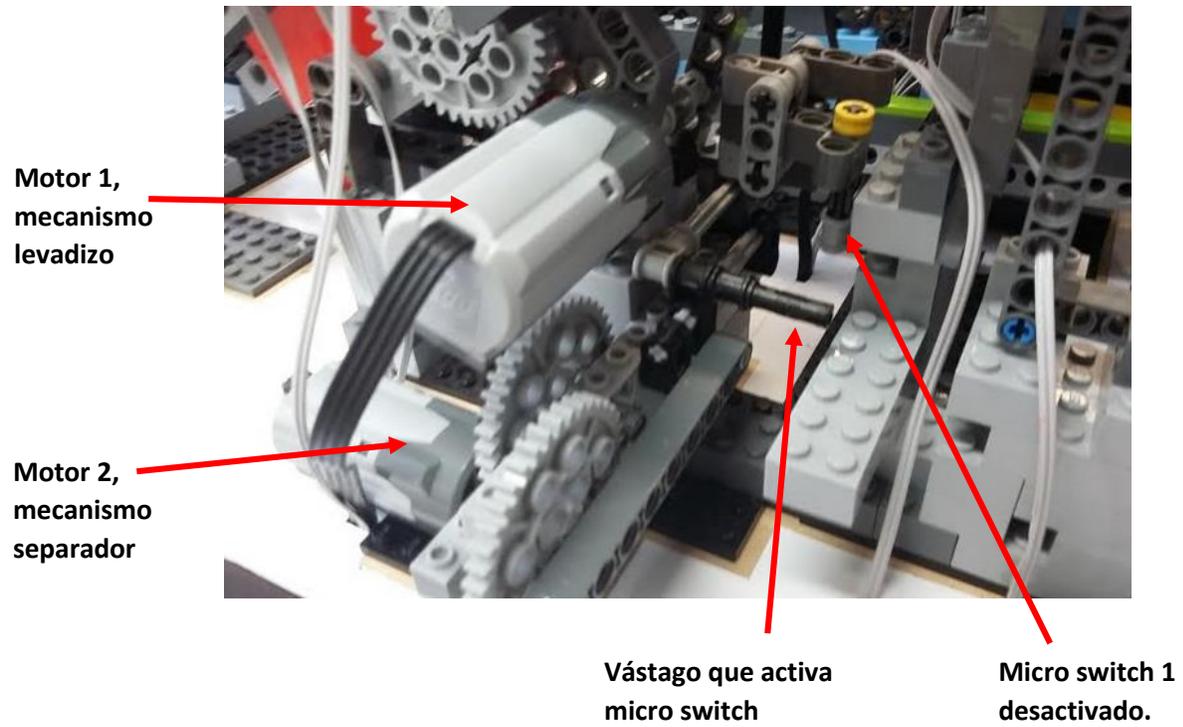
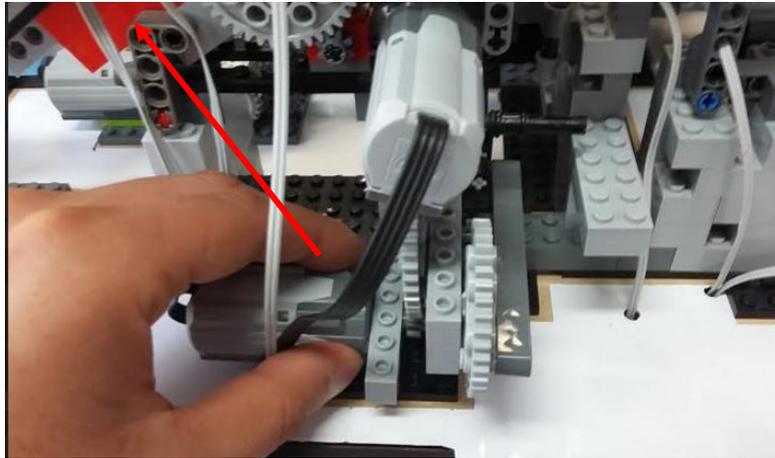


Figura 4. 10. Microswitch desactivado.

### Activación mecánica de microswitch 1.

El motor 2 se tiene que desacoplar hacia arriba y rodeando ligeramente el engrane de 40 dientes como lo indica la flecha (Figura 4.11).



**Motor 2,  
mecanismo  
separador**



Figura 4. 11. Motor 2 de mecanismo separador desacoplado.

Una vez desacoplado el motor 2, se procede a identificar el engrane de 40 dientes que contiene la biela-manivela y girarlo manualmente, ya sea en sentido horario o anti-horario (Figura 4.12) hasta que se escuche el “CLICK” del microswitch 1.

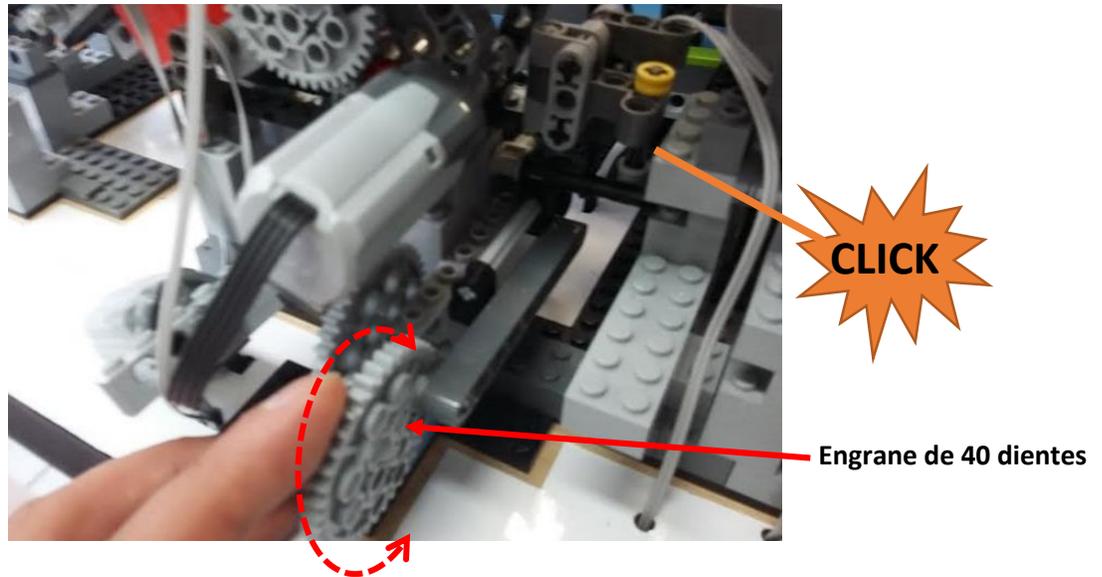


Figura 4. 12. Giro horario – anti-horario de engrane hasta escuchar activación de microswitch 1.

Ya que se escuchó el “click” significa que el micro switch se activó, se debe mantener activado mientras se coloca nuevamente el motor 2 como se muestra en la (Figura 4.13) teniendo cuidado de que no se desactive el microswitch mientras se instala el motor.

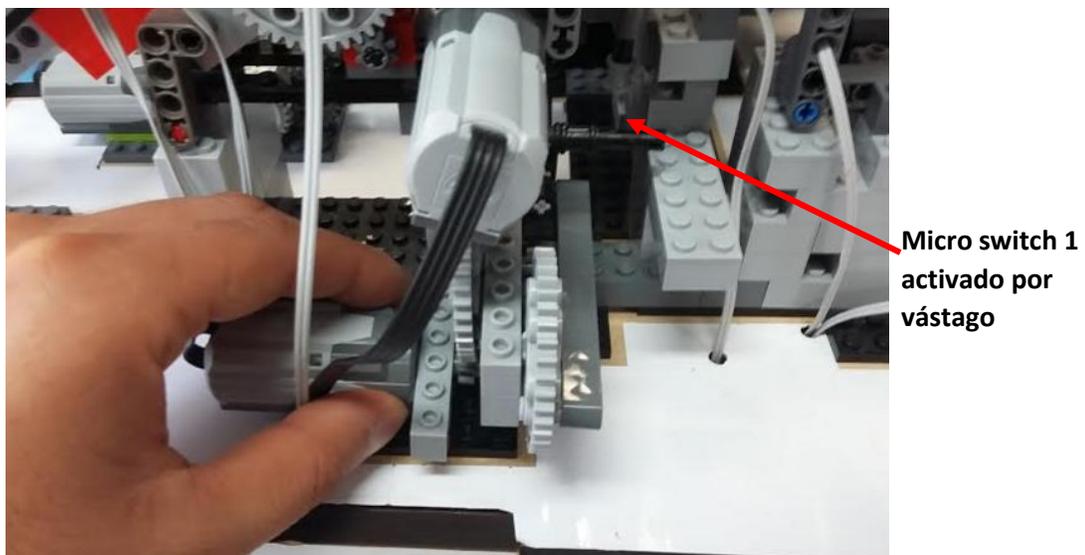


Figura 4. 13. Motor 2 se instala nuevamente

## Esferas atascadas en mecanismos de dispensadores

Si llegara a quedar una esfera atrapada (Figura 4.14) en cualquiera de los dos mecanismos de dispensadores, el procedimiento para liberarla es el siguiente:

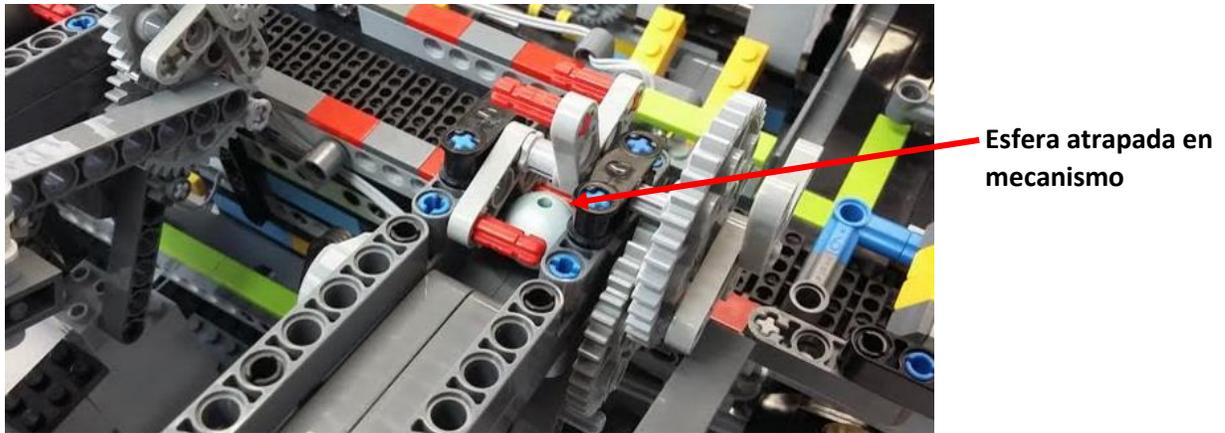


Figura 4. 14. Esfera atascada en mecanismo de dispensador.

Se debe identificar el engrane de 8 dientes (Figura 4.15) que hace contacto con el de 40 dientes, los cuales pertenecen al reductor de velocidad.

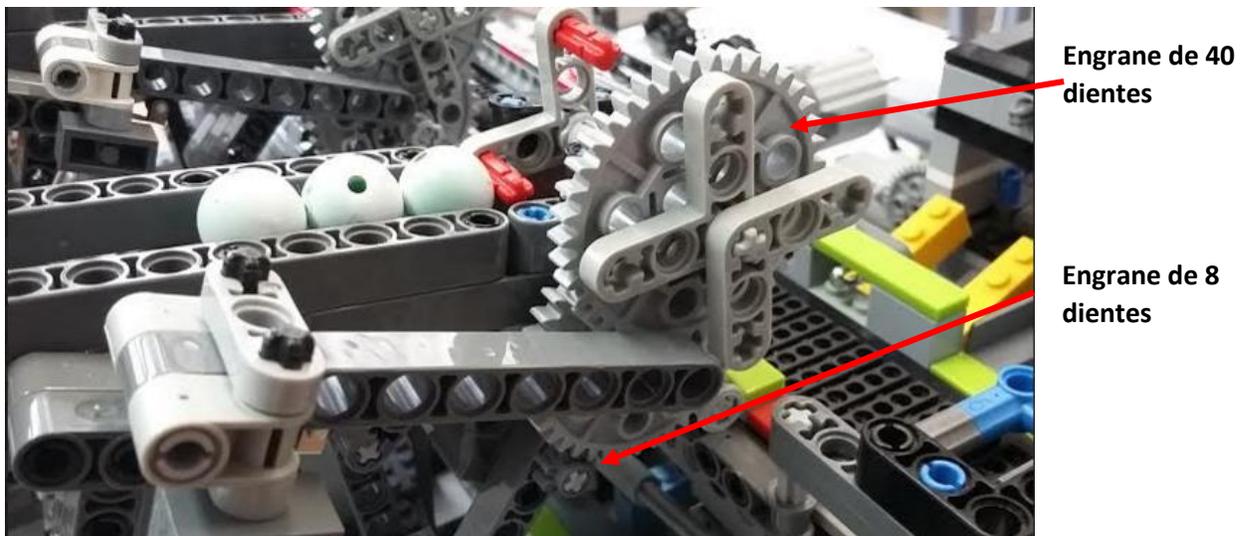


Figura 4. 15. Identificar engrane de 8 dientes.

Una vez identificado, se debe retirar de su flecha. Como se muestra en la figura 4.16. Esto provocará que los engranes queden desacoplados del motor PF mediano.

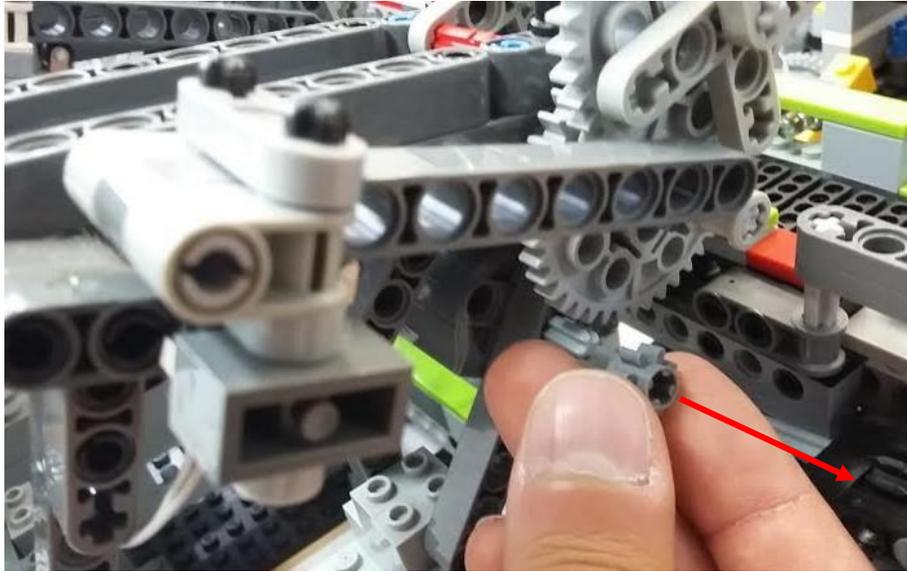


Figura 4. 16. Retirar engrane de 8 dientes de su flecha.

Después se procede a girar de forma manual en sentido anti-horario el engrane superior de 40 dientes (Figura 4.17).

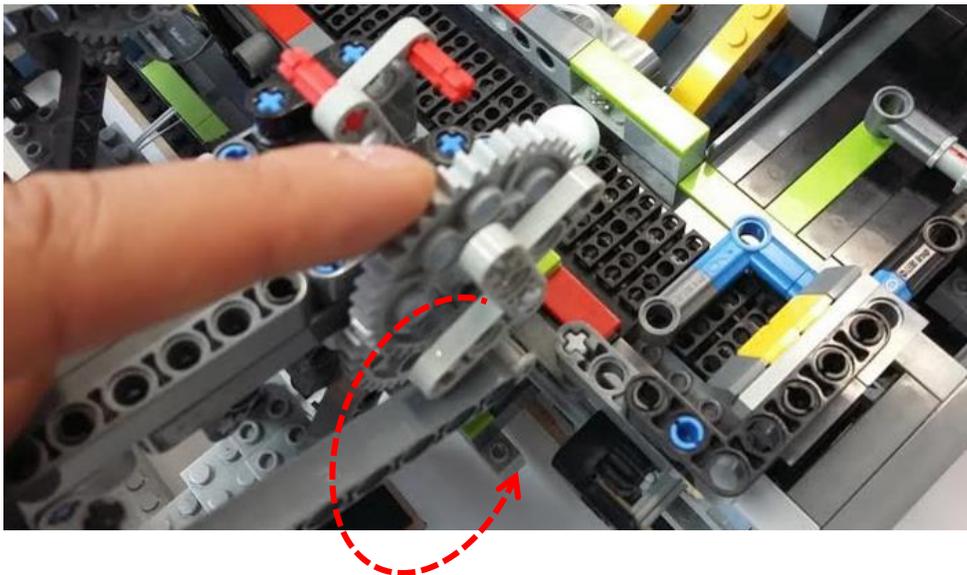


Figura 4. 17. Giro manual anti-horario de engrane de 40 dientes superior.

Esta acción liberará la esfera atrapada en el mecanismo. Una vez que la esfera esté libre, se procede a colocar nuevamente el engrane de 8 dientes en la flecha del motor PF para que se acoplen los engranes (Figura 4.18).

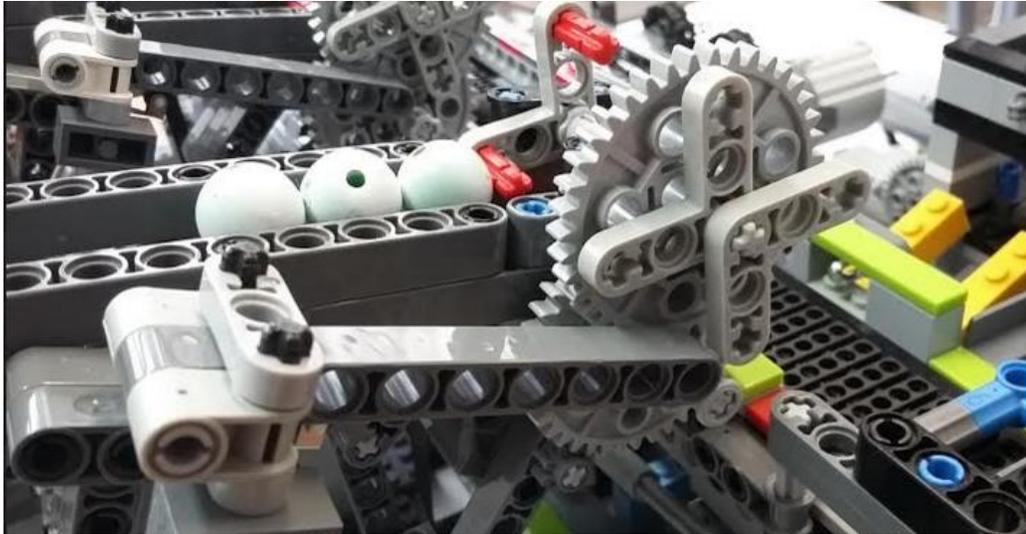


Figura 4. 18. Acoplamiento de engrane de 8 dientes con motor PF.

Si al segundo dispensador le sucediera un problema similar, se repite el proceso anterior.

### **Motor de salida analógica.**

El motor de salida analógica que controla la primera banda transportadora trabaja dentro de un rango de 3 a 9 Volts, si no se respetara este rango, ocurrirán las siguientes situaciones:

1. Si se programan menos de 3 volts, el motor no funcionará y la demanda de corriente calentará el circuito y puede llegar a dañarse.
2. Si se mantienen 3 volts por más de 4 segundos, el circuito se calentará, y puede dañar el transistor, ya que 3 volts es el mínimo voltaje con el que puede trabajar.

### **Sensor Ultrasónico**

El sensor ultrasónico es muy sensible a cambios de posición, apunta directamente a la canasta, se recomienda que ningún objeto ni persona se coloquen frente al modelo mientras el sensor trabaja, de ser así puede afectar su lectura.

### **Sincronización de primer mecanismo retira canastas.**

Al inicio del proceso el microswitch 4 (Figura 4.19) debe encontrarse en modo activo, si no se encontrara activado, a continuación se muestran los pasos para activarlo mecánicamente.



Figura 4. 19. Ubicación de microswitch 4.

Ubicar motor XL y retirar el engrane de 24 dientes de color blanco que hace contacto con el de 40 dientes (Figura 4.20).

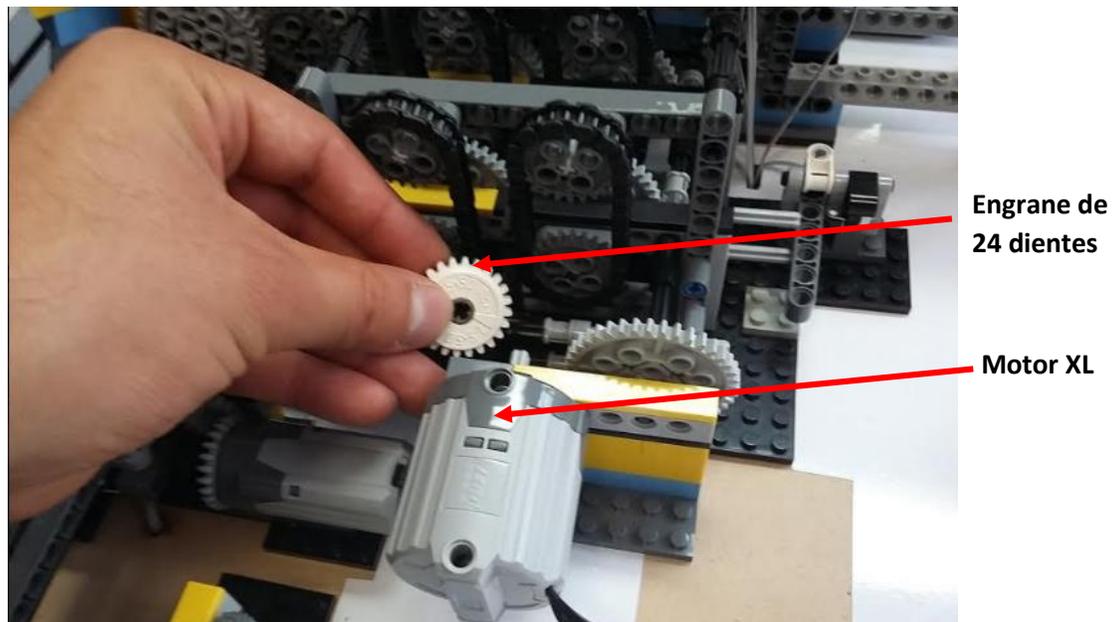


Figura 4. 20. Desacoplar motor de mecanismo.

Una vez desacoplado el motor de mecanismo síncrono, se debe girar manualmente el engrane de 40 dientes en sentido anti-horario (Figura 4.21).

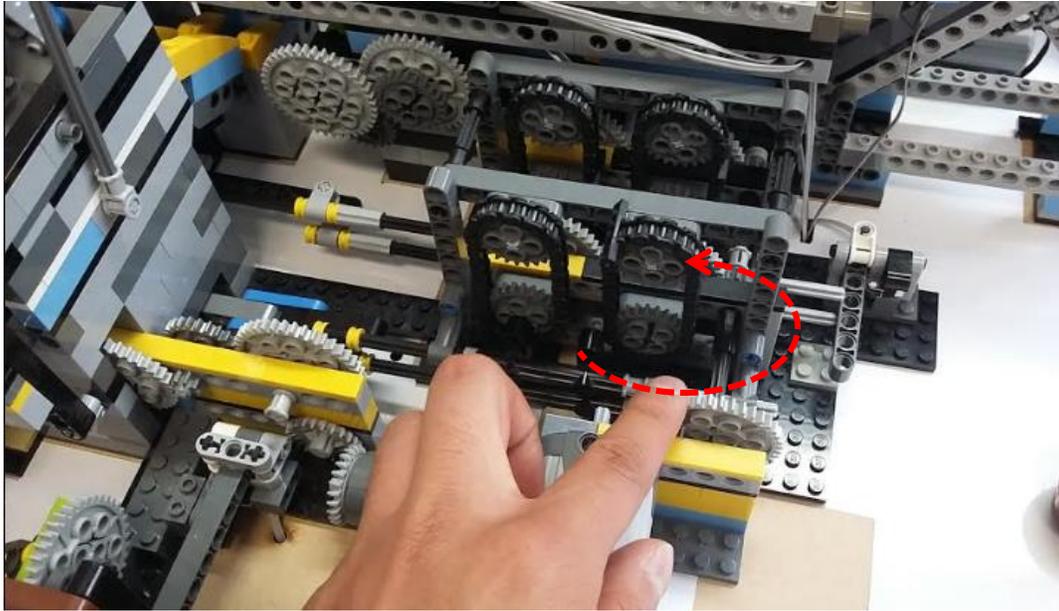


Figura 4. 21. Giro manual de engrane de 40 dientes.

Mantener girando el engrane de 40 dientes en sentido anti-horario hasta que se active el microswitch 4 (Figura 4.22), y una vez activado regresa el engrane de 24 dientes a la flecha del motor XL.



Figura 4. 22. Microswitch activado.

### Fractura de cadenas en mecanismo síncrono.

Si existe algún obstáculo o se llega a forzar el primer mecanismo retira canastas, alguna de las 4 cadenas de su mecanismo de sincronía podría llegar a fracturarse y su reubicación es laboriosa pues se cuenta con poco espacio para manipularlas (Figura 4.23).



Figura 4. 23. Cadenas de sincronía.

Antes de colocar cualquier cadena fracturada se tiene que entender cómo está construido el mecanismo síncrono. Como se aprecia en la figura 4.24, una cadena rodea dos engranes de 24 dientes, esto sucede con las 4 cadenas.

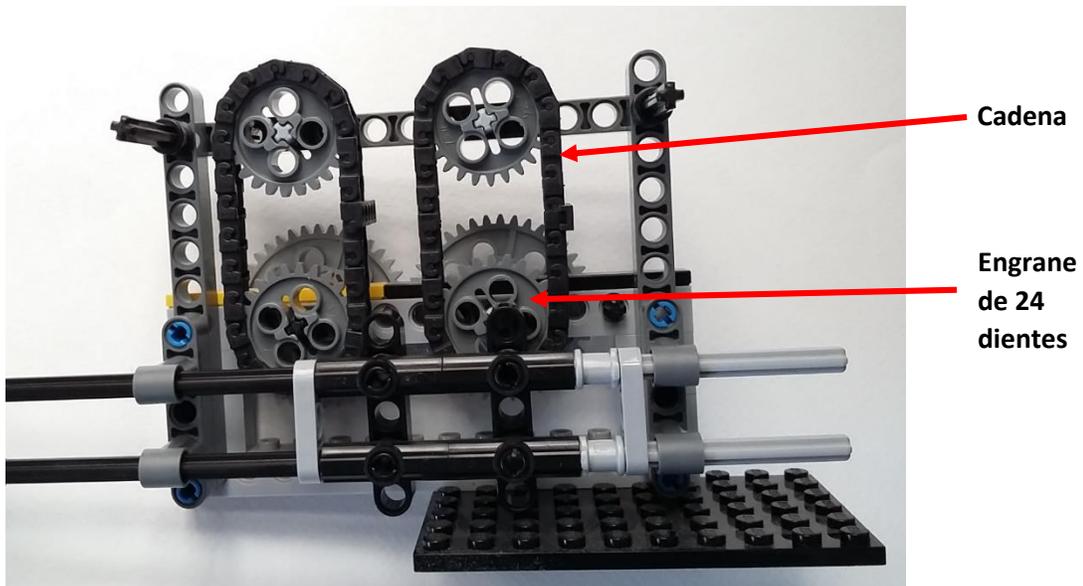


Figura 4. 24. Engranes de 24 dientes rodeados por cadena.

Si una de estas cadenas se fractura simplemente se tiene que unir un extremo con el otro (Figura 4.25) pero rodeando los engranes de 24 dientes, para que se asemeje a la figura 4.24.

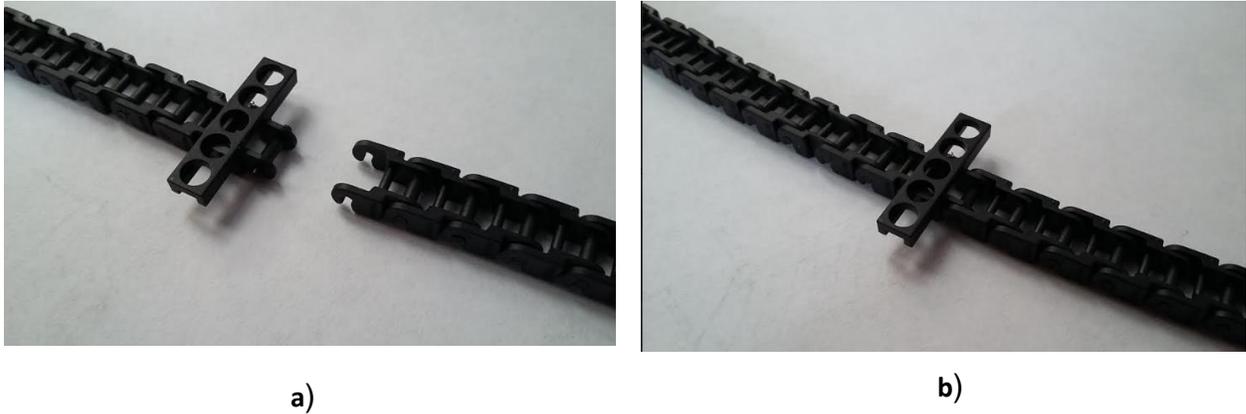


Figura 4. 25. a) Cadena fracturada. b) Cadena restaurada.

Una vez restaurada la cadena, el mecanismo síncrono se tiene que calibrar, como se aprecia en la figura 4.26. Se tienen dos pares de cadenas, un par posterior y otro anterior

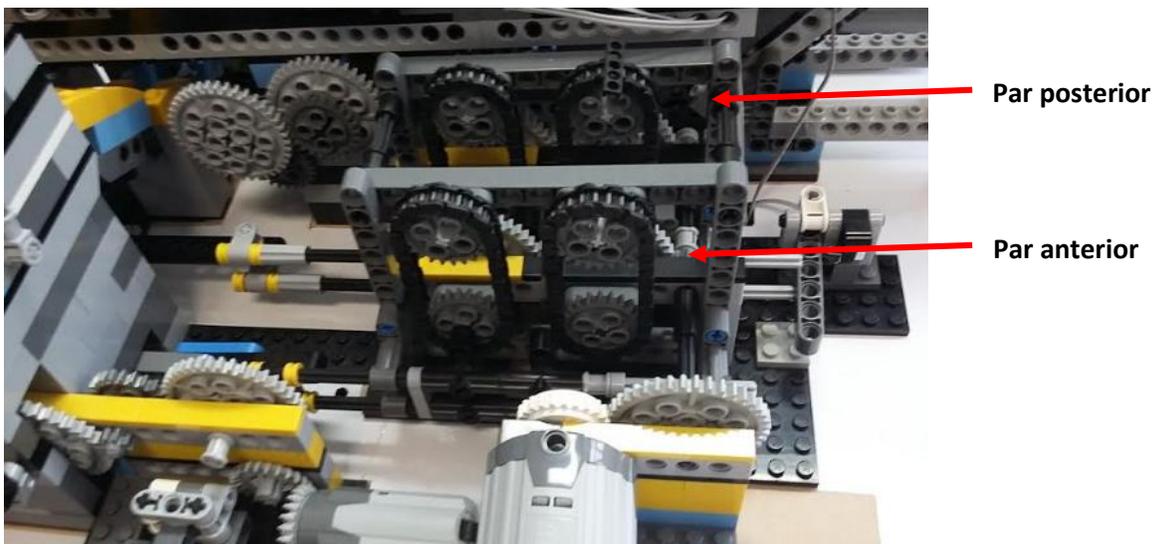


Figura 4. 26. Par de cadenas.

En cada una de las cadenas se tienen muelles (Figura 4.27)



Figura 4. 27. Muelle en cadena.

Para sincronizar el primer mecanismo retira canastas los muelles del par posterior y par anterior se deben encontrar en la siguiente posición (Figura 4.28).

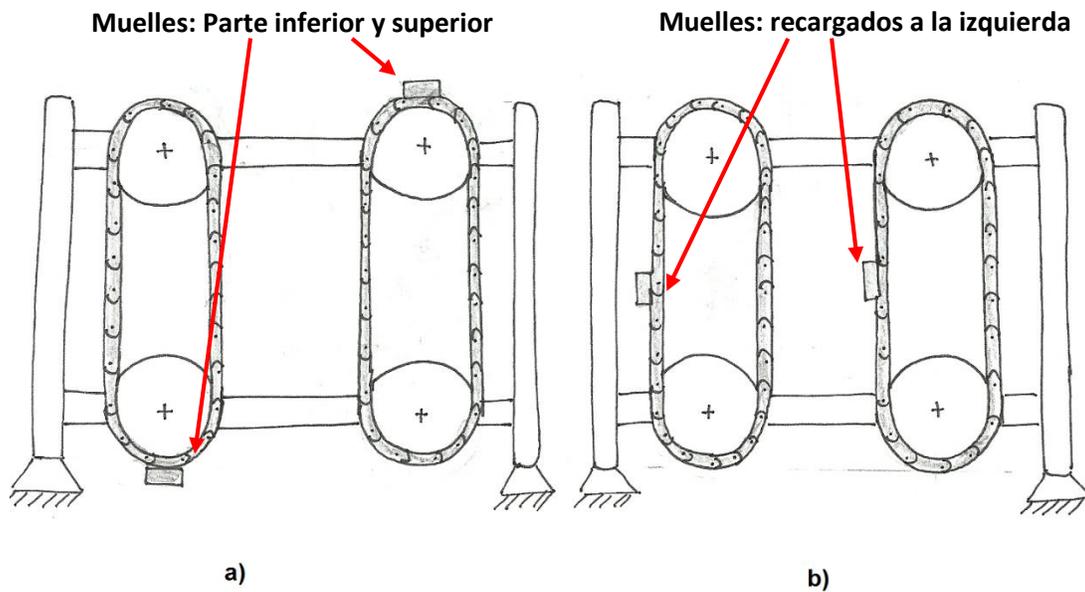


Figura 4. 28. Simplificación de mecanismo síncrono. a) Par posterior. b) Par anterior.

Como se puede observar, en el par posterior los muelles se encuentran en la parte inferior y superior, mientras que en el par anterior los muelles se encuentran recargados a la izquierda.

Es de suma importancia que se encuentren en esta disposición, de otra forma el mecanismo no funcionará adecuadamente.

Para acomodar los muelles en esta disposición se requieren hacer los pasos de la sincronización del primer retira canastas mencionados anteriormente.

#### **Acomodo de Mecanismo de vaciado.**

En ocasiones cuando se da un paro de emergencia sucede que este mecanismo permanece en un ángulo diferente de 0 y de 90° y aprisionando la canasta (Figura 4.29).

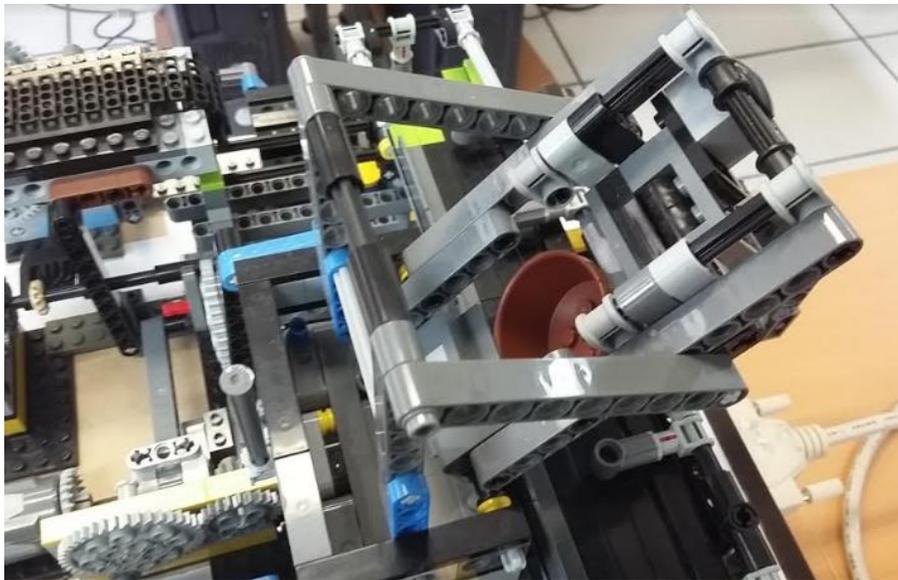


Figura 4. 29. Canasta retenida en mecanismo de vaciado.

Para retirar la canasta y regresar este mecanismo a su estado original se tiene que ubicar el motor 6 (Figura 4.30).

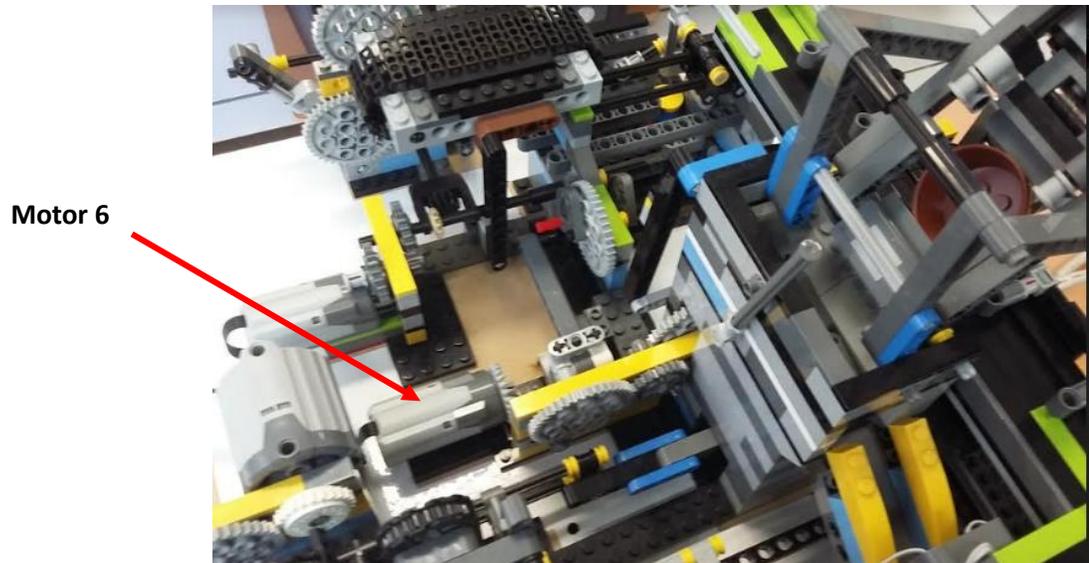


Figura 4. 30. Ubicación de motor 6.

Una vez localizado el motor 6, se tiene que retirar con cuidado hacia arriba mientras se sostiene el mecanismo de vaciado (Figura 4.31).

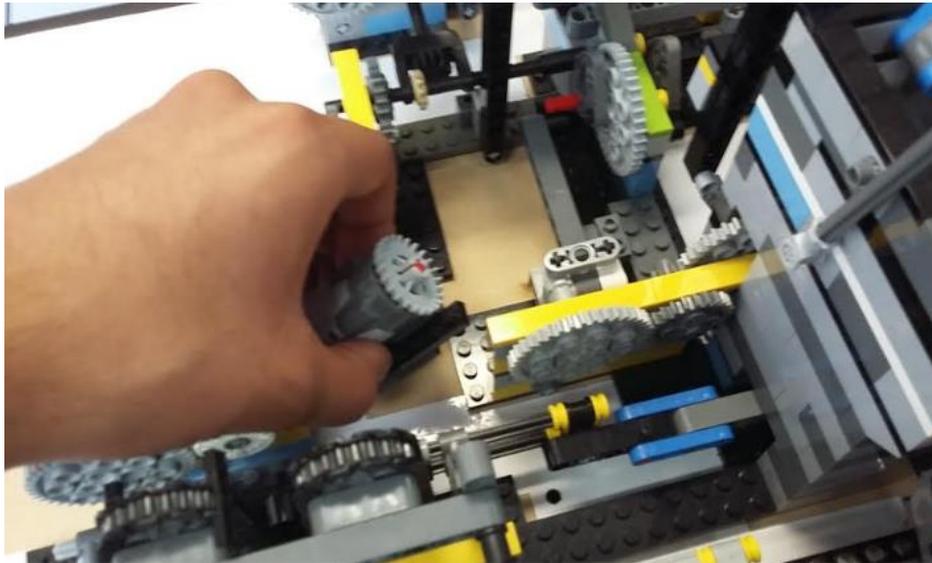


Figura 4. 31. Retirar motor 6.

Cuando el motor se desacopla del mecanismo, es posible regresar el mecanismo a su posición de descanso, para poder retirar la canasta que se encuentra en él (Figura 4.32).

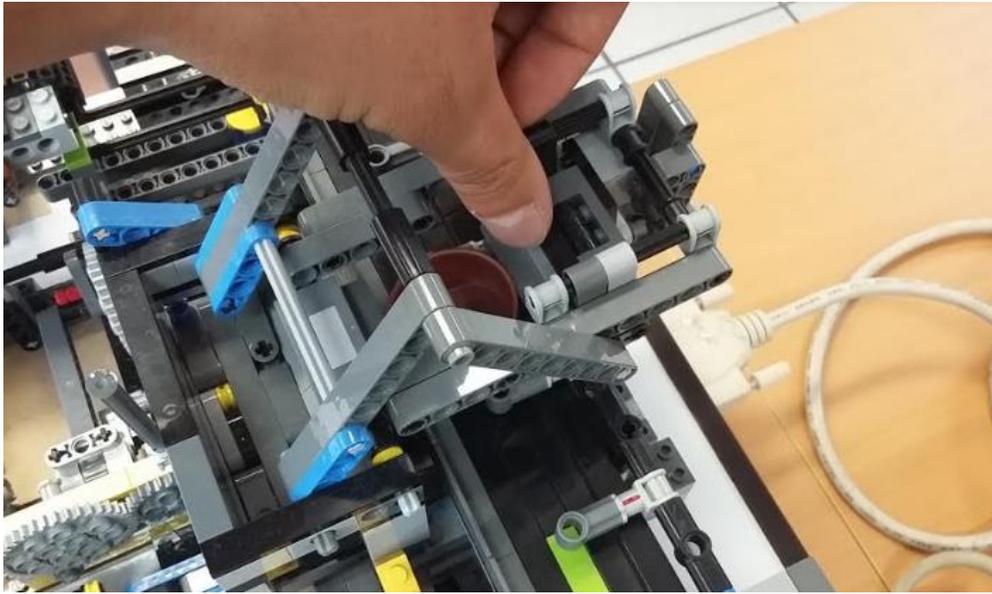


Figura 4. 32. Regresando mecanismo de vaciado a su posición de descanso y retirando canasta.

Cuando la canasta haya sido retirada, se procede a colocar nuevamente el motor en su posición (Figura 4.32).

**Motor 6 en su posición original.**

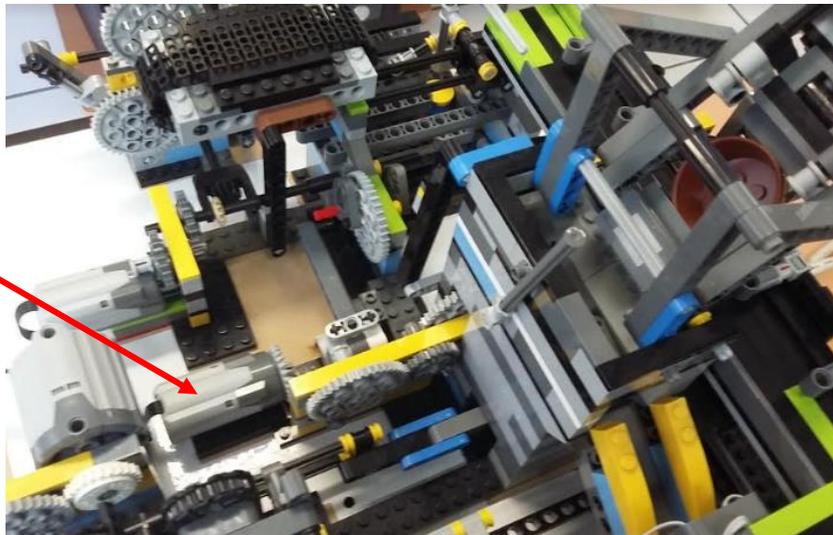


Figura 4. 33. Motor 6 colocado nuevamente.

**Importante:** Si una canasta se encuentra en el mecanismo de vaciado y éste se encuentra funcionando, el primer mecanismo retira canastas deberá permanecer apagado. En caso de que los dos se encuentren funcionando al mismo tiempo y en el mecanismo de vaciado exista una canasta, puede que la canasta provoque una colisión entre ambos mecanismos, provocando el desarmado de alguno de los dos.

## Segundo mecanismo retira canastas.

En caso de que se requiera mover manualmente el segundo retira canastas, los pasos a seguir son los siguientes.

Primero se tiene que ubicar el engrane de 8 dientes del reductor de velocidad que hace contacto con el de 24 (Figura 4.33)

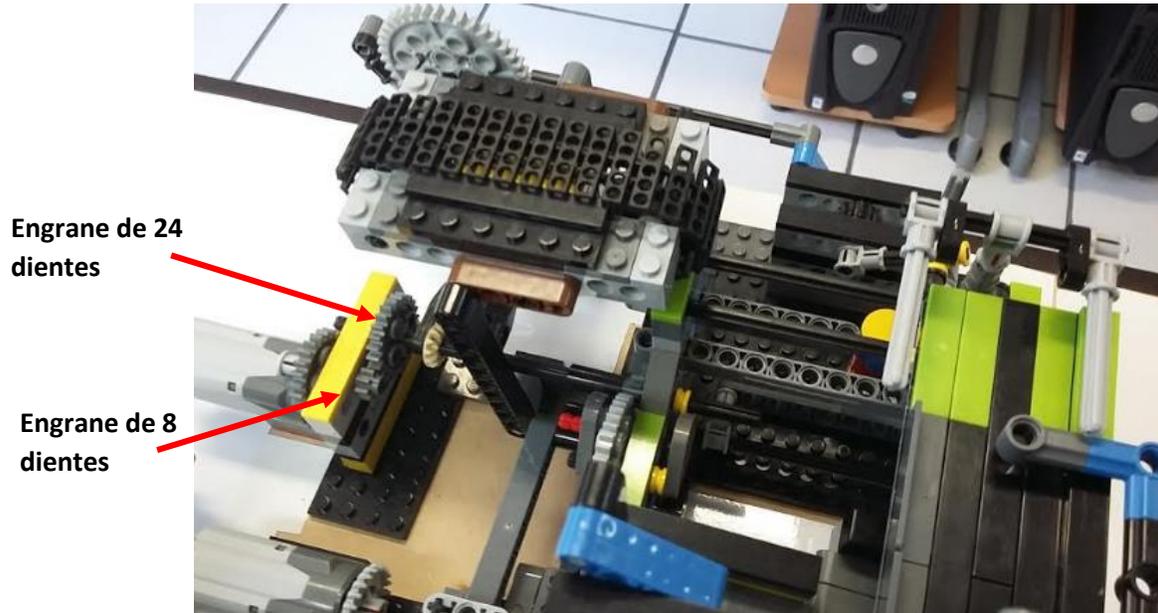


Figura 4. 34. Ubicación de engranes.

Se procede a retirar el engrane de 8 dientes como se muestra en la figura 4.34.

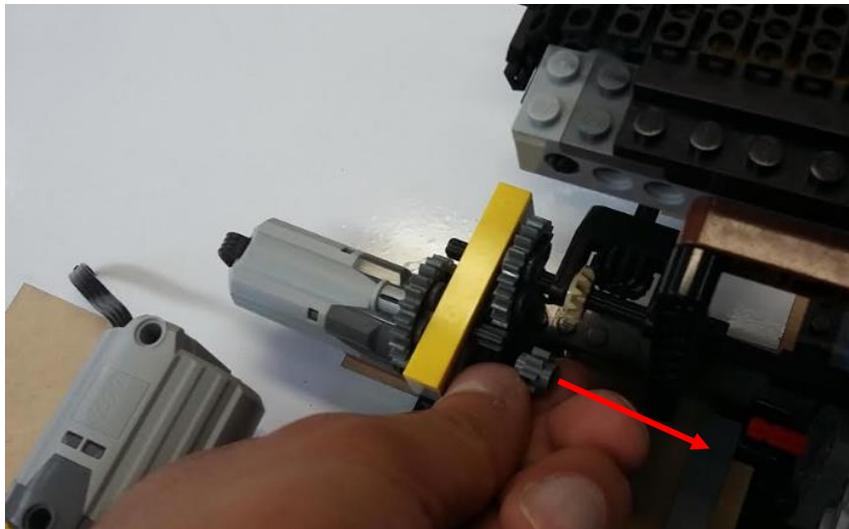


Figura 4. 35. Retirar engrane de 8 dientes.

Ya retirado el engrane de 8 dientes, el mecanismo queda desacoplado del motor y mediante giros manuales en sentido horario del engrane de 24 dientes se puede mover el segundo retira canastas (Figura 4.35)

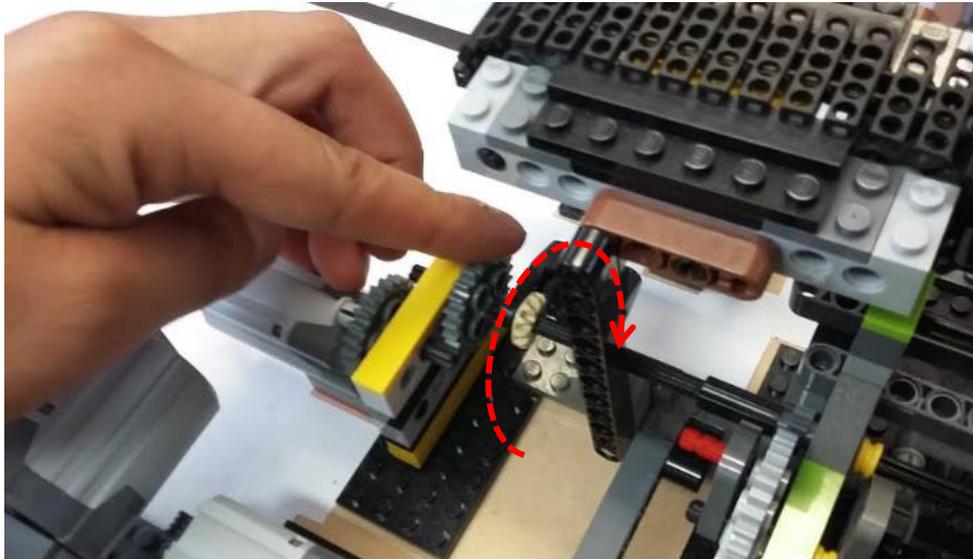


Figura 4. 36. Giro manual en sentido horario de segundo retira canastas.

Cuando se ajuste como se desee, se coloca nuevamente el engrane de 8 dientes al reductor de velocidad (Figura 4.36).

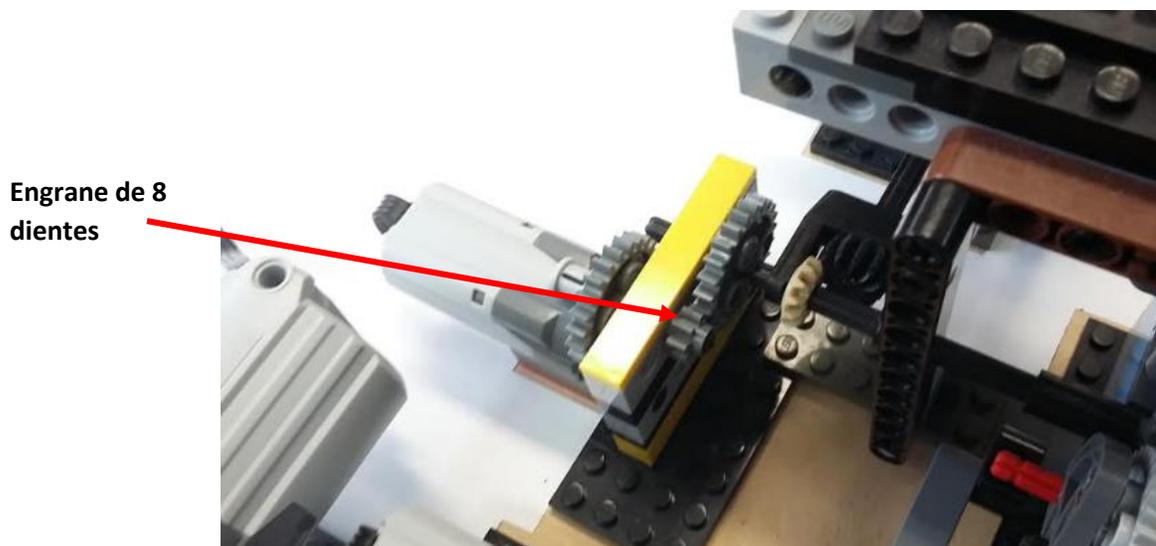


Figura 4. 37. Engrane de 8 dientes en su posición original.

### Mecanismo de regreso.

Si se desean recuperar las esferas ya vaciadas en el mecanismo de regreso, se puede hacer manualmente.

Identificar el engrane cónico de 24 dientes (Figura 4.37).

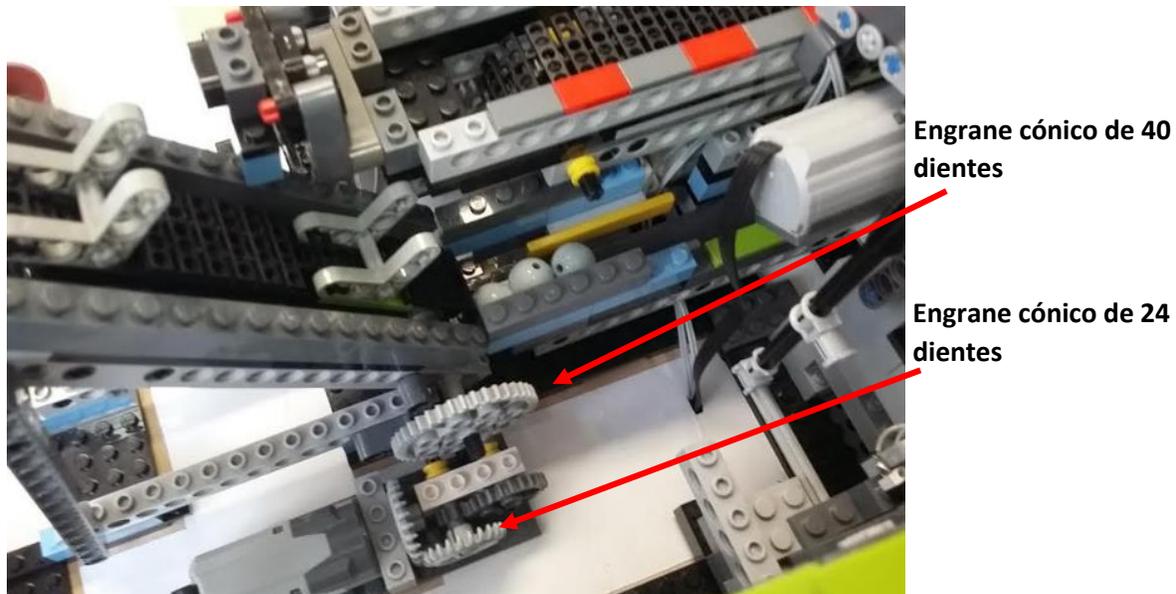
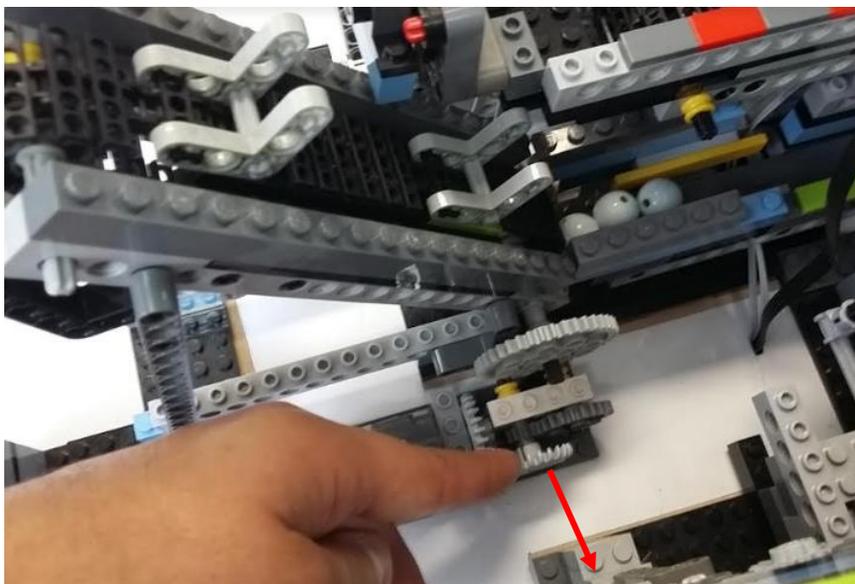


Figura 4. 38. Ubicación de engrane cónico.

Ya que se ubicó se procede a desacoplarlo como se muestra en la figura 4.38.



Haciendo este movimiento, se puede acceder al mecanismo de forma manual mediante el giro manual del engrane de 40 dientes en sentido anti-horario (Figura 4.37)

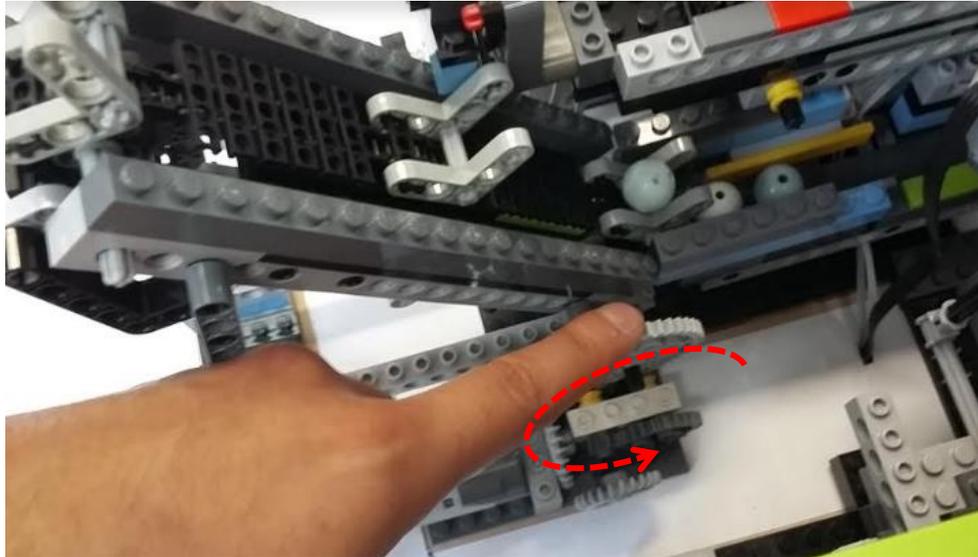


Figura 4. 40. Giro manual en sentido anti-horario de engrane de 40 dientes.

### **Evitar que las esferas se dirijan a mecanismo de regreso**

Si ya no se desea que las esferas se dirijan al mecanismo de regreso es posible retirarlas del modelo mediante una palanca de desvío que se encuentra en la parte posterior del mecanismo de vaciado (Figura 4.38)



Figura 4. 41. Palanca de desvío.

Si la palanca se encuentra recargada hacia el lado derecho las esferas se enviarán al mecanismo de regreso, si la palanca se mueve hacia la izquierda (Figura 4.39) las esferas salen del sistema por debajo de la superficie fija como se muestra en la figura 4.40.

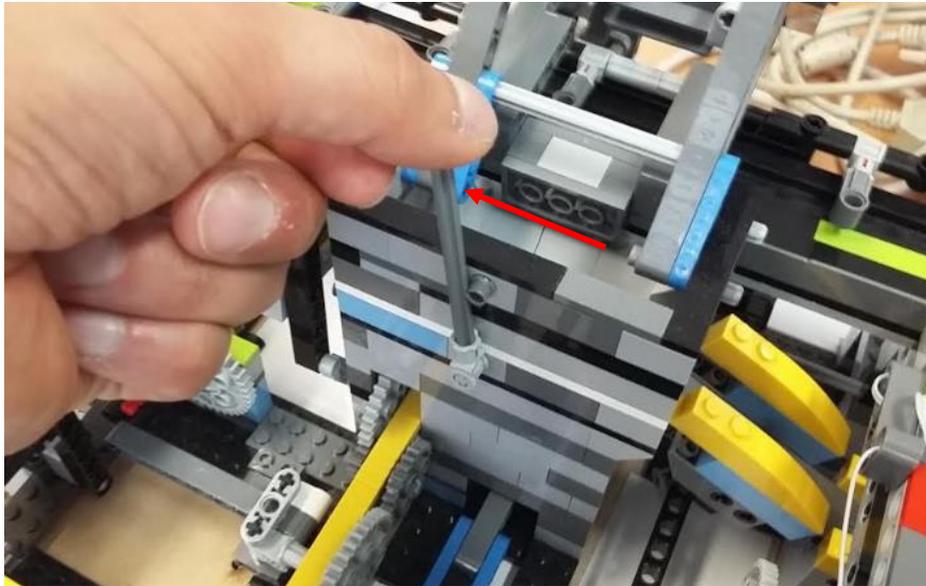
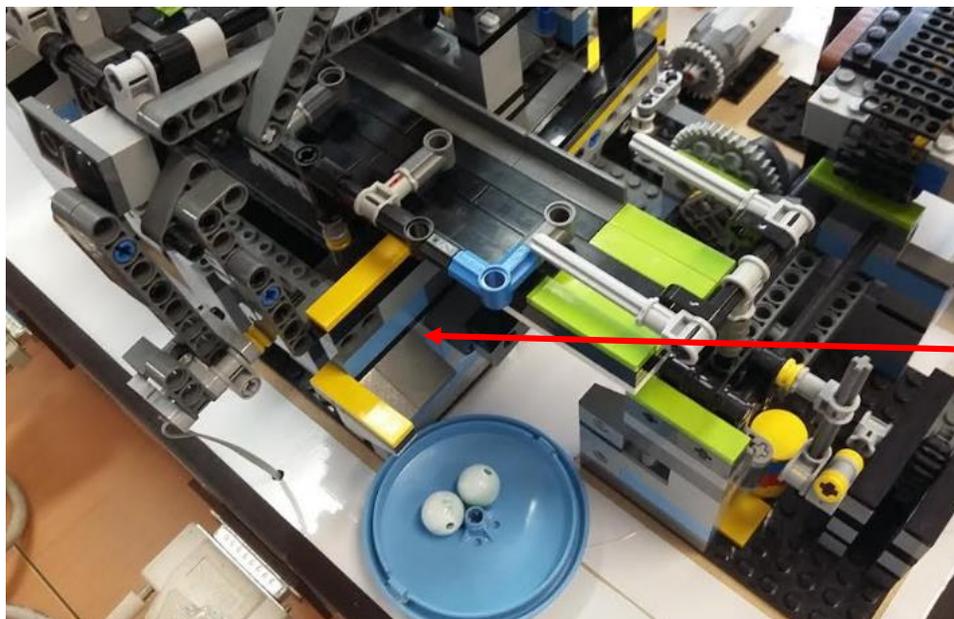


Figura 4. 42. Palanca se recarga hacia el lado izquierdo para desvío de esferas.



Salida de esferas

Figura 4. 43. Salida de esferas por debajo de superficie fija.

## Capítulo 5. Resultados.

### 5.1 Prueba de modelo.

Para dar un ejemplo del funcionamiento del modelo se programó siguiendo el siguiente diagrama de flujo para el llenado de una canasta con 2 esferas negras y 1 esfera blanca como se muestra a continuación.

A continuación se muestran los motores (tabla 5.1) y sensores (tabla 5.2) asignados en los mecanismos para entender el diagrama de flujo.

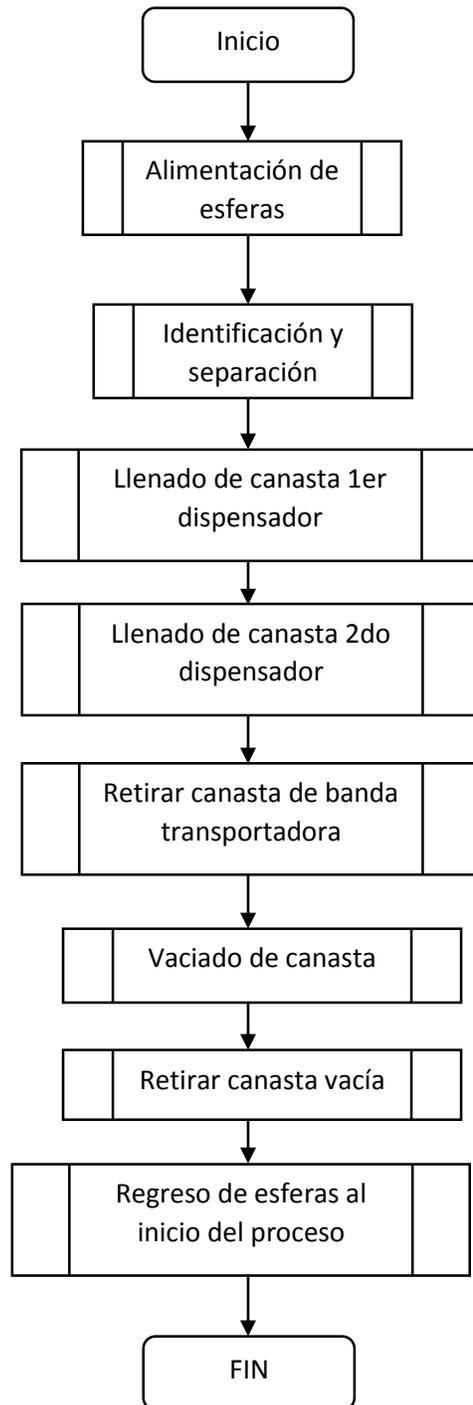
<b>MOTORES</b>	<b>Ubicación</b>
Motor 1	Mecanismo levadizo
Motor 2	Mecanismo de separación
Motor 3	Primer dispensador
Motor 4	Segundo dispensador
Motor 5	Primer retira canastas
Motor 6	Mecanismo de vaciado
Motor 7	Segundo retira canastas
Motor 8	Mecanismo de regreso
Motor Analógico	Primera Banda transportadora

Tabla 5. 1. Asignación de motores.

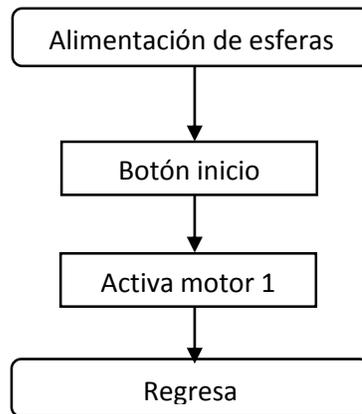
<b>SENSORES</b>	<b>Ubicación</b>
Micro switch 1	Mecanismo separador
Micro switch 2	Dispensador 1
Micro switch 3	Dispensador 2
Micro switch 4	Primer Retira Canastas
Micro switch 5	Mecanismo de vaciado
Micro switch 6	Segundo Retira Canastas
Sensor foto 1	Alineado con dispensador 1
Sensor foto 2	Alineado con dispensador 2
Sensor color	Parte superior de mecanismo levadizo
Sensor Ultrasónico	Inicio de primera banda transportadora

Tabla 5. 2. Asignación de sensores.

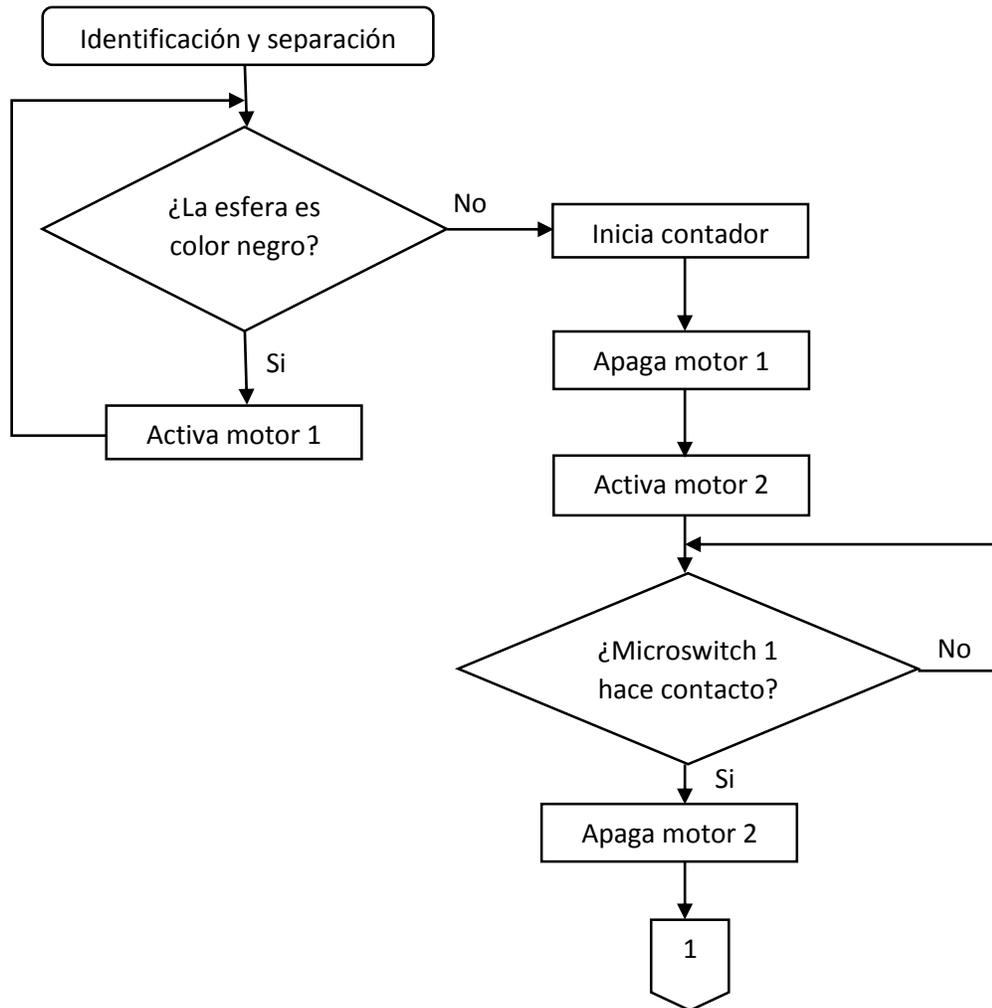
Diagrama de flujo para llenado de una canasta con 2 esferas negras y una esfera blanca:

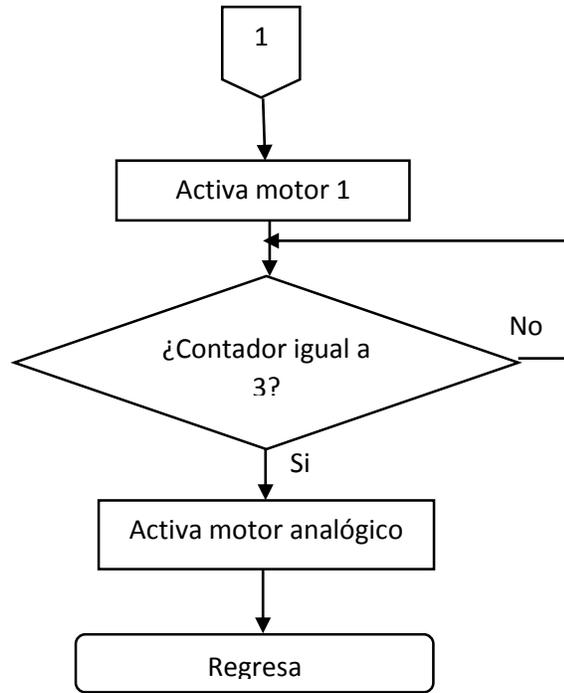


Subrutina de alimentación de esferas:

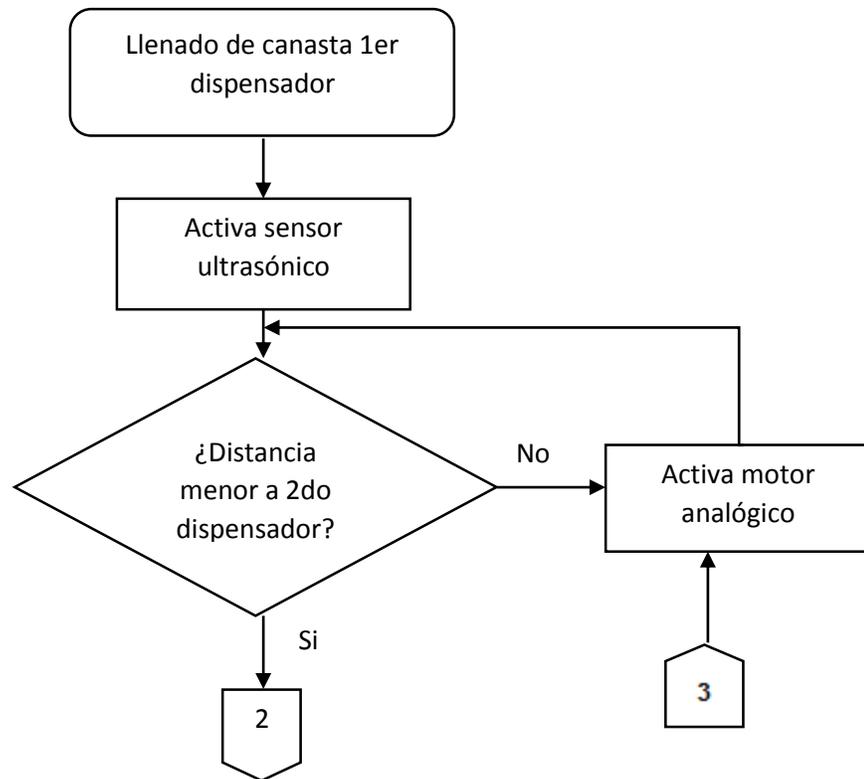


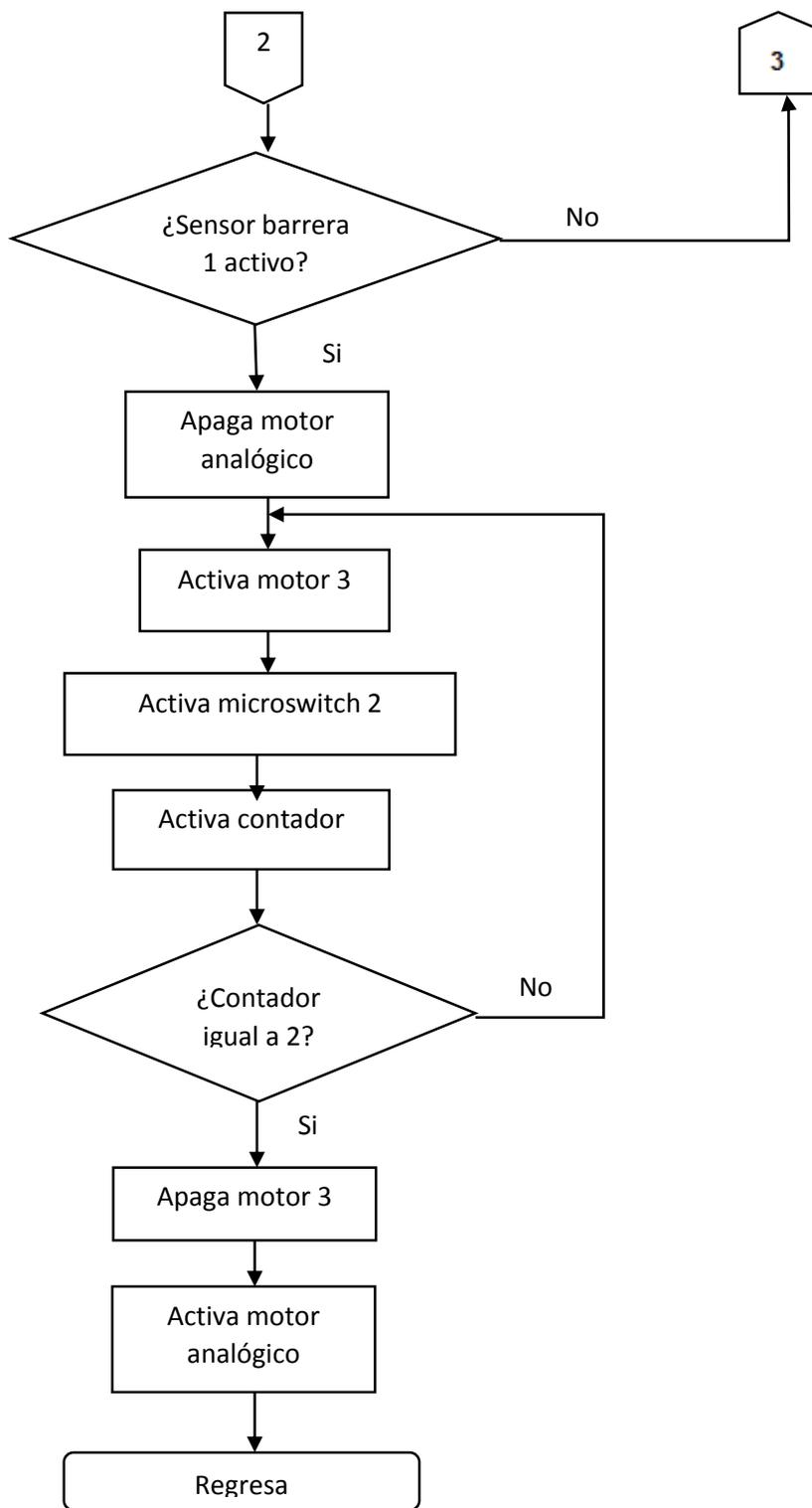
Subrutina de identificación y separación:



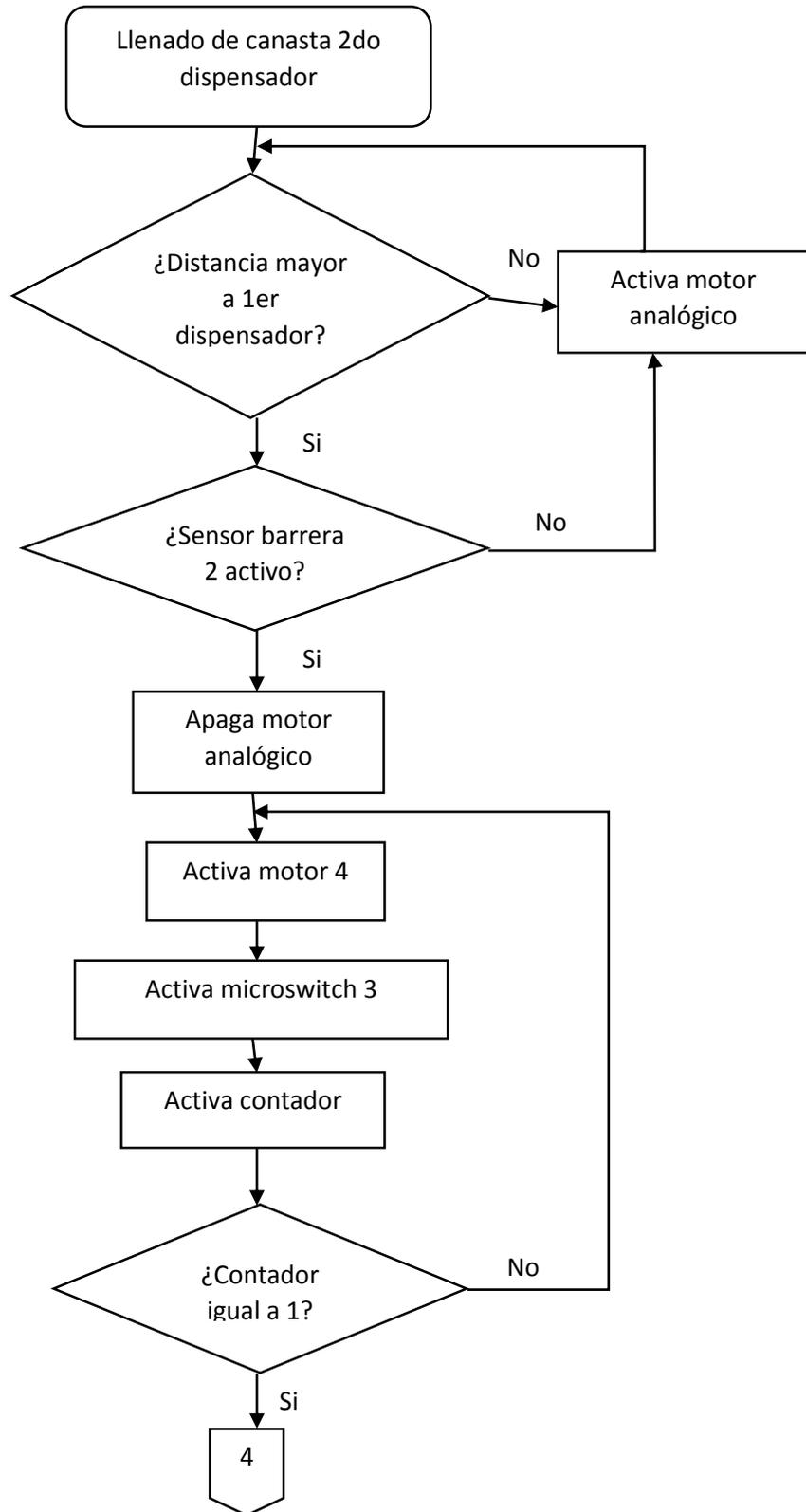


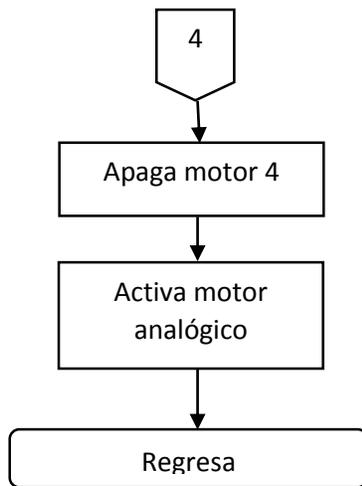
Subrutina de llenado de canasta con primer dispensador:



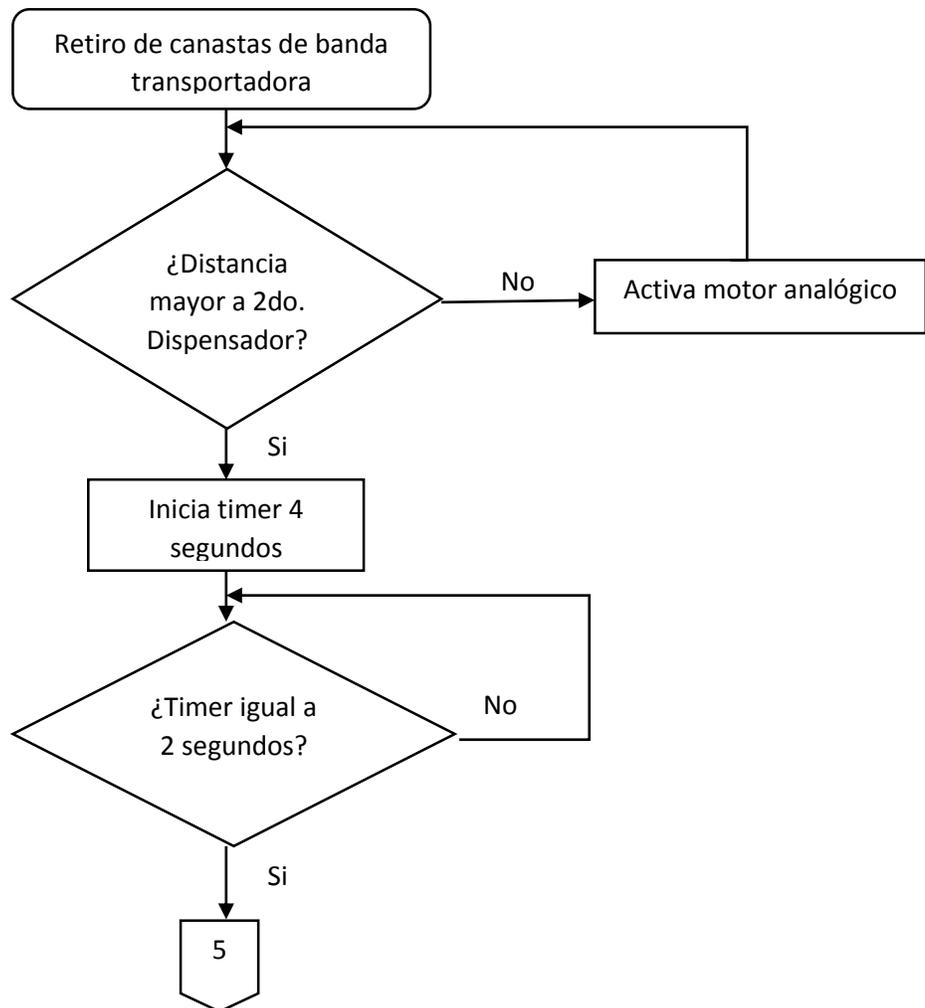


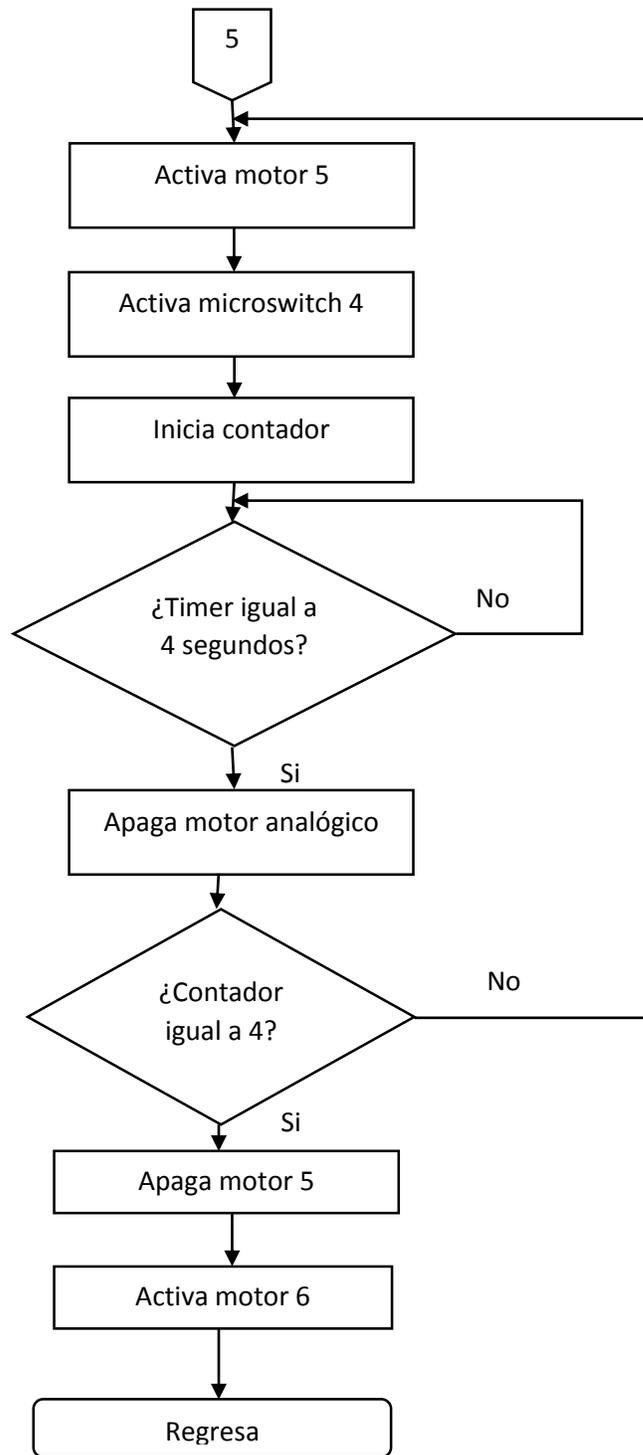
Subrutina de llenado de canasta con segundo dispensador:



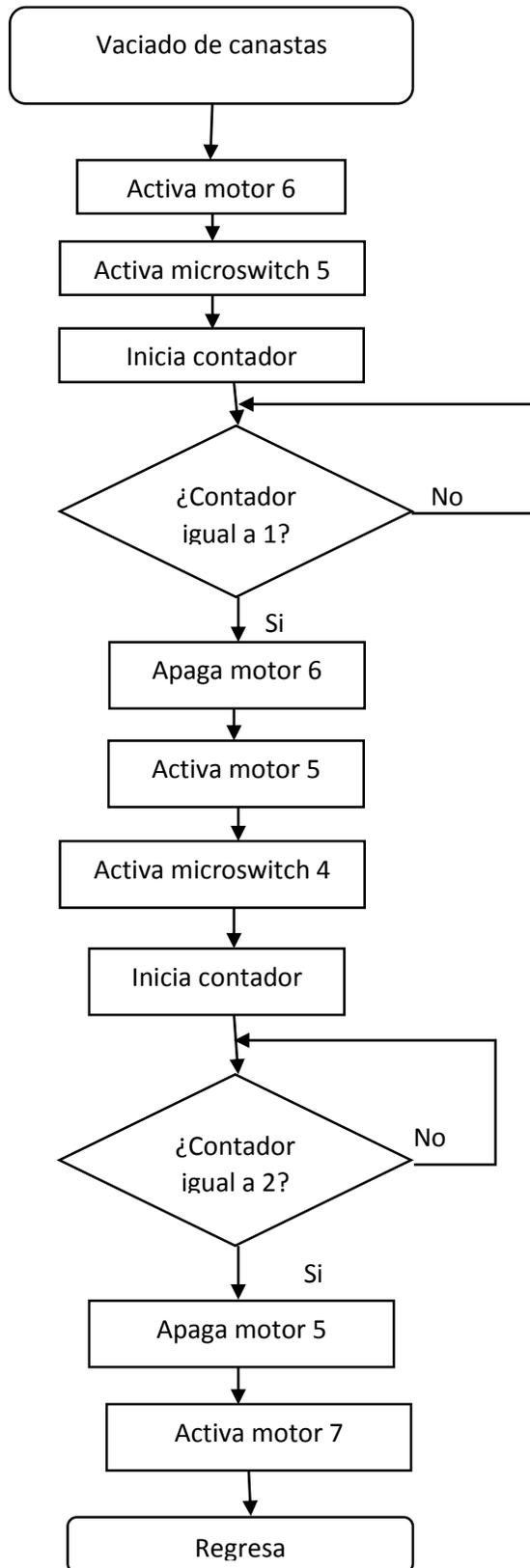


Subrutina de retiro de canasta llena de banda transportadora:

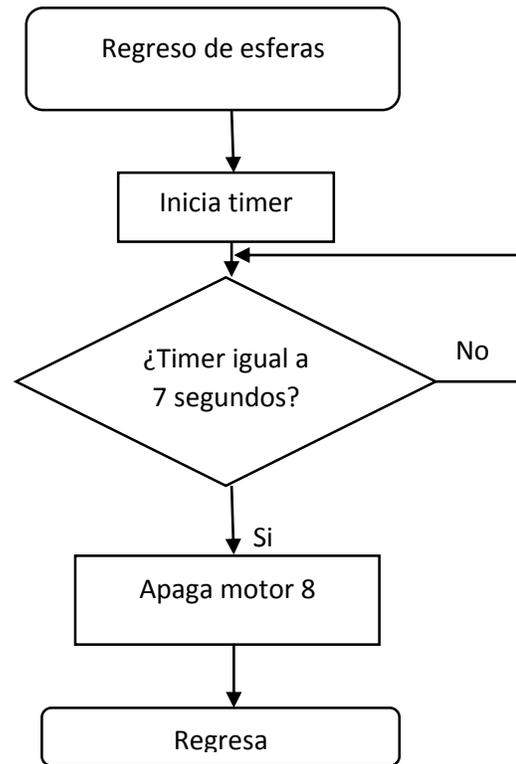
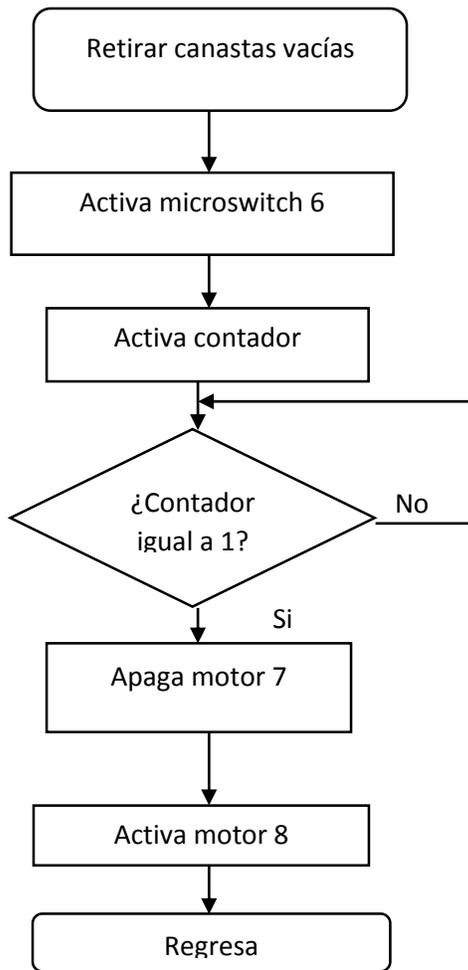




Subrutina de vaciado de canasta:



Subrutinas de retiro de canastas vacías y regreso de esferas:



## **5.2 Uso para fines académicos**

### **5.2.1 Objetivos de aprendizaje**

Se pretende que con este modelo los alumnos aprendan a manejar las entradas y salidas analógicas del PLC.

Aprender cómo se leen las entradas analógicas en el programa RSLogix para monitorear el PLC en tiempo real.

Aprender cómo utilizar una variable flotante para el manejo de la salida analógica de voltaje

Hacer la conversión de voltaje a bits para la salida analógica.

Aprender a encontrar fallas en la mecánica y solucionarlas.

Almacenar información para cada pedido.

### **5.2.2 Ciclos de trabajo**

Al ser un modelo cíclico, es decir, que regresa las esferas al inicio del sistema pueden realizarse varias secuencias de trabajo; se podría proponer por ejemplo el siguiente caso.

Una vez separadas las esferas por color se puede proponer un ciclo de trabajo de 5 canastas

- La primera canasta se llena con 3 esferas negras.
- La segunda canasta se llena con 3 esferas blancas.
- La tercera canasta se llena con 2 negras y 1 blanca.
- La cuarta canasta se llena con 1 negra y 2 blancas.
- La quinta canasta con únicamente 1 blanca.

## **Conclusiones.**

El modelo para manejo de entradas y salidas analógicas, construido en esta tesis, cumple con el llenado de canastas con esferas de dos colores diferentes según se requiera.

Los mecanismos construidos e integrados cumplieron la necesidad del proceso ya que no hay ningún mecanismo desperdiciado o sobrado para el llenado de canastas con esferas de colores.

Los alumnos de la facultad cuentan con un modelo de entradas y salidas analógicas que anteriormente no se tenía.

La realización del diseño permitió generar el modelo físico adecuado para ser una herramienta que servirá a futuras generaciones para la práctica de entradas y salidas analógicas y así reforzar la teoría dada en clase.

El modelo que se presenta en esta tesis permitirá que en el Laboratorio de Automatización Industrial los estudiantes pongan en práctica la teoría con el fin de aterrizar el aprendizaje y entrenar las habilidades de lógica, programación de PLC, mecánica, análisis y flujo del proceso.

En la prueba de funcionamiento se llenó la canasta con el producto requerido.

Los actuadores y sensores funcionan de manera correcta para el control del proceso.

Si se hace una buena planeación de la programación, conociendo el número de entradas y salidas, tanto discretas como analógicas, y se tienen presentes las condiciones de uso del modelo, los mecanismos no presentan ninguna falla.

## Fuentes y referencias

[1] Kenny Tom, "Basic sensor technology". In Sensor Technology Handbook, Newnes, 2005.

Balcells Josep y José Luis Romeral, "Autómatas Programable", Marcombo,

[2] Serna Ruiz Antonio, Ros García Francisco Antonio y Juan Carlos Rico Noriega, "Guía Práctica de Sensores", Creaciones Copyright, 2010.

[3] Mandado Pérez Enrique, Marcos Acevedo Jorge, Fernández Silva Celso y José I. Armesto Quiroga, "Autómatas Programables y sistemas de automatización", Marcombo, 2009

[4] [http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid\\_182.htm?view=productgroupoverview](http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid_182.htm?view=productgroupoverview), 11 de agosto de 2016.

[5] <http://control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf>, 6 de Agosto 2016

[6] Balcells Josep y José Luis Romeral, "Autómatas Programable", Marcombo,

[7] Bolton William, "Programmable Logic Controllers", Newnes, 2015.

[8] X. Liming and Z. Yanchao, "Automated strawberry grading system based on image processing," Comput. Electron. Agric., vol. 71, pp. S32-S39, Apr. 2010.

[9] G. ElMasry, S. Cubero, E. Moltó, and J. Blasco, "Inline sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system," J. Food Eng., vol. 112, no. 1-2, pp. 60-68, Sep. 2012.

[10] [https://www.youtube.com/watch?v=rWd3vgLaA\\_M](https://www.youtube.com/watch?v=rWd3vgLaA_M), 14 de Noviembre 2015.

[11] <http://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/M%C3%A1quinas%20y%20mecanismos.pdf>, 6 de Septiembre 2016.

[12] <https://www.youtube.com/watch?v=sUtS52lqL5w.>, 14 de Noviembre 2015

[13] <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-micro-switch-basic-switches-line-guide-004649-8-en.pdf>, 16 de Mayo 2016.

[14] <http://sigma-shop.com/information/Relay/RAS.pdf>, 16 de Mayo 2016

[15] [http://www1.futureelectronics.com/doc/EVERLIGHT%C2%A0334-15\\_\\_T1C1-4WYA.pdf](http://www1.futureelectronics.com/doc/EVERLIGHT%C2%A0334-15__T1C1-4WYA.pdf), 14 de Enero 2016

[16] <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/QS/QSC113.pdf>, 3 de Febrero 2016.

- [17] <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf>, 4 de Febrero 2016.
- [18] <http://www.digikey.com.mx/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-resistor-color-code-5-band>, 8 de Enero 2016.
- [19] [http://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ\\_Datasheet.pdf](http://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf), 17 Junio de 2016.
- [20] <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/vishay/ekb.pdf>, 13 de Enero 2016
- [21] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/AD623.pdf>, 4 de Febrero 2016.
- [22] <https://www.sparkfun.com/products/8464>, 4 de Febrero 2016.
- [23] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf>, 9 de Marzo 2016.
- [24] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/2N3904.pdf>, 9 de Marzo 2016.