

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Fabricación de los elementos estructurales para un juguete
didáctico basado en el nanosatélite Quetzal-1**

Trabajo de graduación presentado por Sebastián Alvarenga Piñol para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



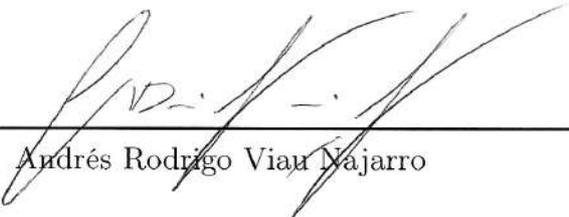
**Fabricación de los elementos estructurales para un juguete
didáctico basado en el nanosatélite Quetzal-1**

Trabajo de graduación presentado por Sebastián Alvarenga Piñol para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,

2022

Vo.Bo.:

(f) 

Andrés Rodrigo Vian Najarro

Tribunal Examinador:

(f) 

Andrés Rodrigo Vian Najarro

(f) 

Victor Hugo Ayerdi Bardales

(f) 

José Antonio Bagur Najera

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre de 2022.

El presente trabajo de graduación consta del maquinado de moldes de colada en frío. El fin del proyecto es realizar un juguete didáctico basado en el primer satélite guatemalteco, el Quetzal-1, para que estudiantes conozcan más sobre las funciones que realizó el satélite cuando estuvo en órbita.

Quiero agradecer a mi asesor, Ingeniero Andrés Viau, por todo el apoyo a lo largo de la realización del proyecto. Agradezco al Ingeniero Gustavo Pineda por su asesoramiento y tiempo otorgado durante el proyecto. Así mismo, quiero agradecer a los encargados del taller de manufactura de la Universidad del Valle de Guatemala, principalmente a Darwin Prada por toda su colaboración durante la manufactura del proyecto.

Prefacio	v
Lista de figuras	xi
Lista de cuadros	xiii
Resumen	xv
Abstract	xvii
1. Introducción	1
2. Justificación	5
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo general	7
3.2. Objetivos específicos	7
4. Marco teórico	9
4.1. Definición de un CubeSat	9
4.2. Quetzal-1	10
4.2.1. Componentes del Quetzal-1	10
4.2.2. Prototipos previos de juguetes del Quetzal-1	12
4.3. Juguetes	14
4.3.1. Clasificación para juguetes	15
4.3.2. Materiales para juguetes	16
4.3.3. Definición de un juguete didáctico	16
4.3.4. Regulaciones para juguetes	16
4.4. Polímeros para inyección	17
4.4.1. Termoplásticos	18
4.5. Uso de maquinado CNC para elaboración de juguetes	20
4.5.1. Centro maquinado Haas VF-1	20
4.6. Procesos de inyección para elaboración de juguetes	21

4.6.1. Máquina APSX-PIM	23
4.6.2. Moldes para inyección	24
4.6.3. Tipos de moldes	25
4.6.4. Sistema de alimentación	26
4.6.5. Bebedero	27
4.6.6. Corredor	27
4.6.7. Compuerta	28
4.7. Manuales	29
4.7.1. Imágenes en manuales	30
5. Metodología	31
5.1. Descripción de metodología	31
5.2. Requisitos	32
5.3. Diseños preliminares	32
5.4. Creación de moldes	44
5.5. Simulación de inyección	50
5.6. Proceso de maquinado	52
5.7. Proceso inyección	60
5.8. Planos mecánicos	62
6. Resultados	63
6.1. Simulación de inyección	63
6.2. Maquinado CNC	65
6.3. Inyección de plástico	70
6.4. Análisis de costos	74
6.5. Manual de ensamblaje	75
6.6. Planos mecánicos	76
7. Análisis de resultados o discusión	77
7.1. Simulación de inyección	77
7.2. Maquinado CNC	78
7.3. Inyección de plástico	78
7.4. Planos mecánicos	79
7.5. Manual de ensamblaje	79
7.6. Análisis de costos	80
8. Conclusiones	81
9. Recomendaciones	83
10. Bibliografía	85
11. Anexos	89

1. Robot mBot	1
2. Kit de piezas robóticas	2
3. Kit de piezas LittleBits	2
4. Kit de piezas Snap Circuits	2
5. Set de piezas Snap Circuit	3
6. CubeSat Quetzal-1	10
7. Estructura y componentes del Quetzal-1	12
8. Prototipo previo de juguete del Quetzal-1 exterior	13
9. Prototipo previo de juguete del Quetzal-1 interior	13
10. Planos juguete previo CubeSat Quetzal-1	14
11. Cubo de Rubik	15
12. Materiales plásticos utilizados en el sector del juguete (porcentaje)	16
13. Productos hechos a base de polímeros	17
14. Variedad de piezas Lego producidas con ABS	19
15. Centro maquinado Haas VF-1	21
16. Molde inyección para bloque 2 X 4 Lego parte superior	22
17. Molde inyección para bloque 2 X 4 Lego parte inferior	23
18. Máquina APSX-PIM	23
19. Moldes usados para inyección	24
20. Molde de dos placas	25
21. Molde de tres placas	26
22. Ejemplo de sistema de alimentación	26
23. Buje del bebedero	27
24. Tipos de corredores	28
25. Diseños de compuertas	29
26. Manual de ensamblaje para juguete de Lego	29
27. Diseño de los marcos para 1ra iteración	32
28. Diseño de las columnas para 1ra y 2da iteración	33
29. Diseño de los marcos para 2da iteración	33
30. Diseño de marcos 3ra iteración	34
31. Diseño de columnas 3ra iteración	34

32. Impresión 3D de la estructura vista isométrica	34
33. Impresión 3D de la estructura vista frontal	35
34. Impresión 3D uniones	35
35. Unión entre piezas	36
36. Modelo 1	36
37. Modelo 2	37
38. Modelo 3	37
39. Modelo 4	37
40. Modelo 5	37
41. Uniones de los diferentes modelos	38
42. Diseño columna 4ta iteración	38
43. Diseño marco 4ta iteración vista isométrica	39
44. Diseño marco 4ta iteración vista frontal	39
45. Impresión resina de las uniones	41
46. Modelos con sus respectivas tolerancias	41
47. Impresión columna mini	42
48. Impresión marco mini	42
49. Ensamblaje fallido	42
50. Columna con una grapa	42
51. Columna diseño final	43
52. Impresión columna final	43
53. Ensamblaje juguete miniatura	43
54. Diseño final marco	44
55. Pieza de trabajo marco	45
56. Pieza de trabajo columna	45
57. Superficie partición marco	46
58. Superficie parche marco	46
59. Superficie partición columna	46
60. Generación molde marco	47
61. Generación molde columna	47
62. Ubicaciones puntos de inyección marco	48
63. Ubicación punto inyección columna	48
64. Cavidad de la columna	49
65. Cavidad del marco	49
66. Molde marco	50
67. Molde columna	50
68. Visualización porta molde columna	51
69. Visualización porta molde marco	51
70. Ejemplo de simulación de llenado de columna	52
71. Ejemplo de simulación de llenado de marco	52
72. Configuración simulación CAM columna	53
73. Configuración simulación CAM marco	53
74. Operación 1 columna	54
75. Operaciones 2 a 5 columna	54
76. Operaciones 6 y 7 columna	55
77. Operación 8 columna	55
78. Operación 9 columna	56
79. Operación 2 marco	57

80. Operaciones 3 a 7 marco	57
81. Operaciones 8 y 9 marco	58
82. Operaciones 10 a 12 marco	58
83. Operación 13 marco	59
84. Operación 14 marco	59
85. Contra molde utilizado	61
86. Molde marco con modificación al sistema alimentación	61
87. Pieza no inyectada a su totalidad	62
88. Tiempo llenado columna	63
89. Tiempo llenado marco	64
90. Predicción calidad marco	64
91. Predicción calidad columna	65
92. Molde para el marco	66
93. Molde para la columna	66
94. Fresado de ranuras	67
95. Inicio del maquinado	67
96. Maquinado del molde	68
97. Molde del marco sin sistema de alimentación	68
98. Molde de la columna finalizado	69
99. Molde del marco finalizado	69
100. Pieza inyectada de la columna	70
101. Pieza inyectada del marco vista superior	70
102. Pieza inyectada del marco vista inferior	71
103. Estructura del juguete	71
104. Estructura acoplada a módulos electrónicos vista A	72
105. Estructura acoplada a módulos electrónicos vista B	72
106. Parámetros inyección marco	73
107. Parámetros inyección columna	73
108. Visualización manual de ensamblaje	76
109. Visualización de plano mecánico	76

Lista de cuadros

1. Parámetros Haas VF-1	21
2. Parámetros APSX-PIM	24
3. Requisitos del proyecto	32
4. Medidas nominales columna	40
5. Medidas nominales marco	40
6. Tolerancias para columna	40
7. Tolerancias para marcos	40
8. Tolerancias para diseño final	41
9. Parámetros de operaciones maquinado columna	56
10. Parámetros de operaciones maquinado marco	60
11. Tiempo de mecanizado de moldes	65
12. Análisis costos para la fase de diseño y prototipado 3D	74
13. Análisis de costos para la fase de maquinado	74
14. Análisis de costos para la fase de inyección	75
15. Estimación de costos para un CubeSat de HDPE	75
16. Estimación de costos para un CubeSat de PP	75

Un número creciente de estudiantes en el país se está interesando por el campo aeroespacial derivado del lanzamiento del primer satélite guatemalteco Quetzal-1. Por esto, se tiene la intención de diseñar y fabricar un juguete didáctico basado en el CubeSat Quetzal 1. Un juguete como este permitirá que más jóvenes tengan acceso a conocer este tema a través de actividades educativas para aprender de las funciones que realizó el Quetzal-1 durante su misión. A la vez, esto puede abrir el camino para que estudiantes más jóvenes se interesen por carreras en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés).

El objetivo de este trabajo fue fabricar los elementos estructurales de un juguete didáctico basado en el nanosatélite Quetzal-1, como también la fabricación de los moldes utilizados para la creación de la estructura del juguete. En la fabricación del juguete se diseñó una estructura en donde se acomodaron y acoplaron todos los elementos y módulos que debería llevar el juguete; cabe destacar que estos módulos no serán parte de este trabajo.

Se realizaron planos mecánicos para las piezas de la estructura y sus moldes siendo estos mecanizados, en los cuales se pudo realizar un proceso de inyección, además de crear un manual de instrucciones para el usuario. Finalmente se le recomienda a futuros estudiantes trabajar con diseños que involucren moldes de dos caras.

A growing number of students in the country are taking an interest in the aerospace field resulting from the launch of Guatemala's first satellite Quetzal-1. For this reason, the intent of this work is to design and manufacture an educational toy based on the CubeSat Quetzal-1. A toy like this will allow more young people to have access to this subject through educational activities to learn about the functions that Quetzal-1 performed during its mission. At the same time, this may pave the way for younger students to become interested in science, technology, engineering, and math (STEM) careers.

The aim of the project was to manufacture the structural elements of an educational toy based on the Quetzal-1 nanosatellite, as well as the injection molds used to create the structure of the toy. In the manufacturing process of the toy, a structure was designed to accommodate and couple all the elements and modules that the toy should carry; it should be noted that these modules are not part of this work.

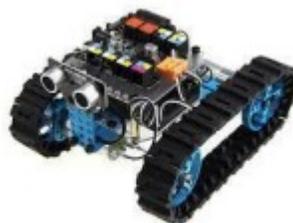
Mechanical drawings were made for the parts of the structure and its molds were machined, in which an injection process could be performed, in addition to creating an instruction manual for the user. Finally, future students are encouraged to work with designs that involve two-sided molds.

Se inició el proyecto realizando una búsqueda acerca de juguetes didácticos relacionados a nanosatélites pero, debido a poca información acerca de este tema, se decidió entrevistar a estudiantes e ingenieros de la Universidad del Valle que tuvieron experiencia en el diseño, manufactura y ejecución de un kit didáctico relacionado al CubeSat Quetzal-1.

Como parte de la investigación, se indagó en la web el tema de juguetes tecnológicos presentes en el mercado que asemejen las funciones de un nanosatélite por sus componentes y/o sistemas, de los cuales se hallaron los siguientes juguetes: Little bits, Snap Circuits y Makeblock mBot.

El kit de ciencia robótica Makeblock está basado en el uso de un robot mBot de codificación STEM (por su acrónimo en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) para principiantes, lo que permite que la codificación de robots de enseñanza y aprendizaje sea simple. Con el uso de una variedad de maquinaria robótica y piezas electrónicas. Este kit permite familiarizarse con los fundamentos de la programación basada en bloques, desarrollo de pensamiento lógico y habilidades de diseño; además de que las piezas complementarias ayudan a los usuarios a explorar más a fondo la electrónica y la mecánica (Makeblock Education, 2021).

Figura 1: Robot mBot



Fuente: Makeblock

Figura 2: Kit de piezas robóticas



Fuente: Makeblock

Los LittleBits son pequeños bloques de construcción electrónicos que pueden combinarse entre sí con el objetivo de aprender sobre temas STEM como circuitos, ingeniería y electrónica. LittleBits permite mezclar rompecabezas, programación, electrónica e invención en un mismo juguete para realizar diferentes creaciones ya sea packs de audio, sintetizador de música o de desarrollo de Arduino (Sphero, 2021).

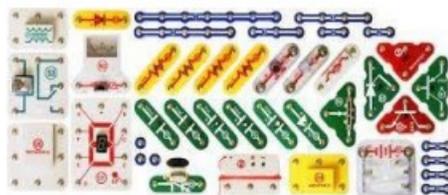
Figura 3: Kit de piezas LittleBits



Fuente: Shpero

Por último, Snap Circuits enseña conceptos básicos de ingeniería, circuitos y electrónica mediante el uso de componentes de construcción con broches, fácilmente identificables por su color y propósito, para ensamblar circuitos electrónicos en una cuadrícula a base de filas y columnas. Este tipo de juguete es utilizado en escuelas, programas STEM y Maker y programas extraescolares. Snap Circuits refuerza habilidades importantes, como las motoras y de lectura (ELENCO ELECTRONICS, 2021).

Figura 4: Kit de piezas Snap Circuits



Fuente: Elenco Electronics

Figura 5: Set de piezas Snap Circuit



Fuente: Elenco Electronics

Como segunda parte de la investigación, se realizaron diversas entrevistas a estudiantes y personal técnico administrativo de la Universidad del Valle de Guatemala y a continuación se detallan los resultados de las mismas.

Se realizó una entrevista con el estudiante de ingeniería mecánica industrial Cesar Saavedra Monterroso que se llevó a cabo el once del mes de agosto de 2021, donde se le consultó acerca (1) del objetivo del juguete, (2) su rol en el proyecto, (3) su experiencia con el kit, (4) las dificultades o contratiempos sufridos y (5) los aspectos a mejorar. Durante la entrevista se encontró que originalmente el objetivo era inspirar a jóvenes a estudiar alguna rama de ingeniería por lo que el juguete fue la principal herramienta para lograr esto. Su participación estuvo implicada en la simplificación de todos los componentes involucrados en el Quetzal-1 para representar de manera sencilla dichos componentes en el juguete. Entre los contratiempos encontrados fue la utilización de tornillos y roscas los cuales, debido a problemas con las tolerancias entre los agujeros y las roscas, se producía un barrido en el agujero de las tuercas. Otro problema encontrado fue que los tornillos quedaban demasiado largos para los agujeros lo que provocaba que se tuviera exedentes innecesarios de longitud que interrumpían los procedimientos de ensamblaje de otros componentes. El mayor problema presentado fue la asimetría de la estructura lo que provoca un desnivel en ciertas piezas haciendo que estas no se pudieran acoplar debidamente a la estructura; de tal manera que las recomendaciones eran que en el diseño de la estructura se buscara simetría para evitar dichas molestias. Otra recomendación fue que, si se deseaba implementar imanes, se debía tomar en cuenta el espesor y la orientación de las piezas. Como última recomendación, fue marcar la orientación de las piezas facilitando el ensamblaje y que, si se deseaba en un futuro crear piezas por medio de inyección, el mecanismo frecuentemente utilizado es el de Snap Fit (Saavedra, 2021).

Se realizó también una entrevista a la ingeniera Cecilia Marsicovetere Fanjul el día diez de agosto del 2021, donde ella expuso su papel en (1) la creación del juguete didáctico, (2) el objetivo del mismo y (3) los aspectos sujetos a posibles mejoras. Ella comentó que no se involucró en el diseño, sino que se enfocó en la ejecución, en charlas educativas y la aplicación del juguete. El kit tenía como objetivo dar una introducción a lo que era el Quetzal-1 y poder enseñarle a los niños las partes que conforman al satélite, mostrar el tamaño real para que tuvieran un ejemplo físico de referencia y fuera más fácil de visualizar. De la misma manera, nos comentó que uno de los contratiempos que tuvo en el proyecto fue que las piezas no se almacenaban de la manera correcta y esto causaba que los tornillos se

chocaran y se barrieran, dificultando su ensamblaje. Otro dilema que enfrentaron fue que no existían instrucciones para ensamblar los kits; sólo se contaban con los planos mecánicos; además, por la inexperiencia y falta de conocimiento con respecto a planos mecánicos por parte de los alumnos, se complicaba el ensamble. Según ella, la mayor causa de pérdida de interés por parte de los alumnos se debía a la simplicidad del juguete ya que habían estudiantes que no le veían nada especial al kit. Por último, concluyó que en las charlas los juguetes tuvieron un impacto diferente en las personas presentes; así como hubo jóvenes muy interesados en el tema, había otros que no les atraía tanto; aunque a la hora de armar el satélite, se perdía el miedo a participar por parte de los estudiantes y surgían dudas interesantes (Marsicovetere, 2021).

La última entrevista fue realizada el día doce de agosto de 2021 a Ricardo Paz Cerezo. El objetivo de su labor fue el diseñar el juguete para ser utilizado por parte de la Universidad del Valle de Guatemala como un método didáctico en conferencias a jóvenes de bachillerato al igual que a universitarios del primer año de la misma casa de estudios. Él observó y comentó, al igual que la ingeniera Marsicovetere Fanjul, que las charlas y los kits recibieron respuestas mezcladas ya que habían estudiantes que sí mostraban interés ensamblando y planteando dudas, mientras que otros no estaban interesados. Por aparte, también se tuvo problemas en el ensamble del juguete a causa de los hoyos, interfiriendo con los tornillos y por la falta de un manual de ensamble. También comentó que la naturaleza técnica de los planos generaba confusión en el ensamble debido a la inexperiencia de las audiencias sobre el tema. Posteriormente, por los numerosos inconvenientes que generaban los tornillos, se rediseñó el juguete reemplazando los tornillos con imanes, pero se consiguió una opción muy pequeña y débil por lo que no funcionó. Él también recomendó determinar desde el inicio o en las fases iniciales del diseño del juguete, el método de producción masiva a utilizar (Paz, 2021).

Promover el estudio STEM se ha vuelto fundamental en muchos países debido a que cada vez hay menos alumnos cursando este tipo de carreras. En España se produjo un déficit de un 2% por año de estudiantes cursando carreras de ingeniería (aproximadamente 2600 por año) desde 2015 a 2019 (Silió, 2019). Según un conteo estadístico realizado en el 2019 por la Universidad San Carlos de Guatemala, se muestra que en la misma universidad un 15% del total de los estudiantes estudian en alguna rama de ingeniería (Universidad San Carlos de Guatemala, 2020). De este porcentaje se puede considerar que un número muy bajo de estudiantes se gradúan de ingeniería comparando contra países avanzados como Alemania y Estados Unidos. En Estados Unidos hubo 229,310 egresados en la rama de ingeniería de un total de 808,640 en el año 2017 (National Science Board, 2018), mientras que en Alemania en 2017 el número de estudiantes con un título de ingeniería se calculó en 129.646 de alrededor de 502.000 personas (Anadolu Agency, 2018). Por otro lado, en Guatemala en 2013 se graduaron 2,966 ingenieros de un total de 24,442 personas (González, 2016).

Para Guatemala y para las diferentes universidades con carreras STEM en la región centroamericana, podría ser un gran avance que los jóvenes se involucren en actividades y/o estudios relacionados a estos temas debido a que podría atraer a más jóvenes a este tipo de carreras. Esta es una de las razones por las que se llevó a cabo el proyecto del nanosatélite Quetzal-1. Este proyecto fue diseñado en Guatemala por estudiantes y profesores de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) con el propósito de diseñar, construir y operar un satélite tipo CubeSat para probar el prototipo de un sensor multiespectral, con la intención de abrir el campo de ciencias y tecnología espacial en Guatemala (Universidad del Valle de Guatemala, 2020a). De la misma manera, este proyecto, el cual consiste en el diseño y la fabricación de un juguete didáctico basado en CubeSat Quetzal-1, puede significar que más jóvenes se interesen y profundicen en este tema estimulando a que se involucren en carreras relacionadas con la ingeniería y ciencias en general.

Con el diseño y la fabricación del juguete didáctico, se busca que los interesados puedan aprender de manera fácil e intuitiva el funcionamiento de los sistemas y componentes que conformaban al Quetzal-1. Para la fabricación del juguete, se diseñó una estructura basada

en componentes del Quetzal-1 donde fueron acomodados y acoplados todos los elementos y módulos que debió llevar el juguete. También se buscó realizar análisis de costos al igual que un manual de instrucciones que sirvió como guía para unir todos los componentes del juguete.

3.1. Objetivo general

Fabricar los elementos estructurales de un juguete didáctico basado en el nanosatélite Quetzal-1.

3.2. Objetivos específicos

- Definir los requisitos que debe cumplir el diseño de un juguete didáctico.
- Diseñar una estructura basada en componentes reales del Quetzal-1 para la implementación en un juguete.
- Definir el proceso de manufactura que deberá ser empleado en la fabricación de los distintos componentes del juguete.
- Definir el proceso de ensamble para los diferentes módulos del juguete didáctico.
- Crear un manual de instrucciones para el ensamble de todos los componentes del juguete didáctico.
- Definir el costo de fabricación para la estructura del juguete.

4.1. Definición de un CubeSat

Los CubeSat son una clase de nanosatélites que utilizan un tamaño y un factor de forma estándar. El tamaño estándar de CubeSat utiliza "una unidad" o "1U" que mide 10 x 10 x 10 cm y es ampliable a tamaños más grandes ya sea de 2U, 3U, 6U e incluso 12U. Este tipo de satélite fue desarrollado originalmente en 1999 por la Universidad Politécnica Estatal de California en San Luis Obispo y la Universidad de Stanford para proporcionar una plataforma para la educación y la exploración (Mabrouk, 2017).

Para un nanosatélite, su peso dependerá de la misión que tenga el mismo, sin embargo, el rango de pesos para estos se encuentra entre 1 a 10 kilogramos. En el caso específico para un CubeSat 1U normalmente su peso es de menos de 1,33 kg (Hill, 2020). Del mismo modo, los CubeSat se construyen igual a cualquier satélite y tienen al menos tres cosas en común: (1) existe un sistema de comunicación por radio y una antena que se encargan de enviar y recibir información desde y hacia la Tierra, (2) la fuente de energía del satélite tiende a ser un panel solar o simplemente una batería y (3) debe de haber una computadora a bordo que se encarga de ejecutar diferentes instrucciones para asegurar el correcto funcionamiento del satélite. Aparte, la estructura cúbica principal está fabricada en aluminio y sirve para sujetar los componentes anteriores junto con otros como cámaras, sensores o cargas útiles científicas (Canadian Space Agency, 2018).

Los beneficios de utilizar algún modelo de CubeSat en vez de un satélite convencional son que es posible construirlo en un tiempo relativamente corto, aproximadamente dos años y su costo de fabricación es mucho menor a comparación de los satélites grandes. Las piezas de las cuales están hechos suelen ser simples y están disponibles en el mercado. El diseño de estos satélites es simple ya que se utilizan para misiones cortas y no se generan desechos espaciales ya que estos se suelen quemar en la atmósfera durante el reingreso del satélite si la misión ocurriera en una órbita terrestre baja. Sin embargo, este tipo de satélite tienen un tiempo de vida reducido debido a que la mayoría de ellos están operativos por un período de 3 a 12 meses, además, el alcance de sus misiones es limitado ya que cuentan con una escasa

capacidad para transportar instrumentos científicos (Canadian Space Agency, 2018).

4.2. Quetzal-1

El Quetzal-1 fue el primer satélite guatemalteco construido por la colaboración de estudiantes, docentes e ingenieros de la Universidad del Valle de Guatemala, con el apoyo asesores locales e internacionales. El objetivo de este satélite consistió en diseñar, construir y operar un satélite tipo CubeSat para probar el prototipo de un sensor multiespectral, abriendo el campo de ciencias y tecnología espacial en Guatemala y formando capital humano guatemalteco para permitir la adquisición de información vía detección remota para conservación de recursos naturales, de forma independiente (Universidad del Valle de Guatemala, 2020b).

Figura 6: CubeSat Quetzal-1



Fuente: Universidad del Valle de Guatemala

4.2.1. Componentes del Quetzal-1

El satélite Quetzal-1 está compuesto de 619 elementos, y 1 mil 332 piezas para ensamblar. Entre los principales componentes, están los paneles solares, las antenas, el módulo de

comunicación, la computadora de abordo y cámara monocromática (CONCOGUÁ, 2018). A continuación, se mencionará las funciones de estos elementos en el satélite

- Computadora de abordo:

El término "computadora de abordo" (OBC, por sus siglas en inglés) indica cualquier unidad que vuele a bordo de un satélite que proporcione capacidad de procesamiento. La esencia misma de un OBC es la placa del microprocesador, que consta de microprocesador, memorias no volátiles, memorias volátiles y el chip acompañante que conecta el microprocesador a diferentes periféricos (European Space Agency, 2021).

- Paneles solares:

Los paneles están presentes en cada cara del satélite. Estos se encargan de obtener la energía del Sol para transformarla en energía eléctrica para que los demás componentes puedan funcionar. Se puede encontrar un total de once paneles repartidos en las ocho caras del satélite.

- Estructura:

La estructura del satélite está hecha a partir de aluminio 7075. Esta estructura se encarga de proteger y dar soporte a las demás partes.

- Antenas:

Transmite y recibe ondas electromagnéticas con la información del satélite hacia y desde la estación en tierra. Se desplegará después de que sea lanzado al espacio el aparato. En total se encuentra una antena en cada cara lateral del satélite.

- Transceptor:

Consiste en un transmisor y un receptor los cuales procesan tanto la información recibida por la antena como la que el satélite envía a la estación de control en tierra.

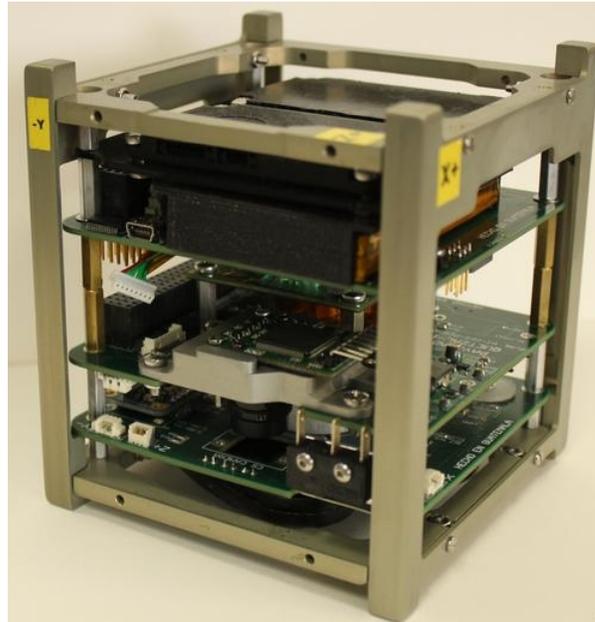
- Baterías:

El satélite cuenta con dos baterías de iones de litio de 3.7 voltios. Las baterías reciben la energía proveída por los paneles solares, la almacenan y proporcionan a los demás componentes. Estas van sujetas dentro de una pieza de aluminio anodizado.

- Carga útil (Cámara):

Está conformada por un carrusel de filtros, un motor piezoeléctrico y un sensor. Con estos componentes podrían capturar imágenes que en teoría establecerían la cantidad de clorofila en cuerpos de agua y, en consecuencia, estimar la concentración de cianobacteria.

Figura 7: Estructura y componentes del Quetzal-1

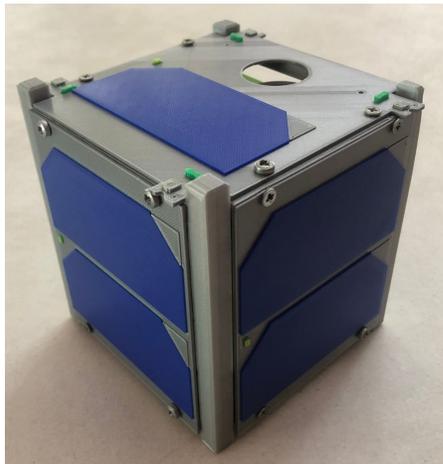


Fuente: Universidad del Valle de Guatemala

4.2.2. Prototipos previos de juguetes del Quetzal-1

Como parte de un proyecto del departamento de ingeniería mecánica de la UVG, se fabricó un modelo inspirado en la quinta fase del proyecto CubeSat UVG Quetzal-1 (2017 - 2018). El objetivo de dicho proyecto se basó en enseñarle a jóvenes de secundaria y primeros años de universidad las partes principales de un satélite tipo CubeSat, introducirlos a la interpretación de planos mecánicos y promover el uso de herramientas y piezas mecánicas con tornillos, tuercas, pernos y mecanismos de sujeción. Dicho juguete cuenta con un total de 21 piezas y 35 tornillos. Para ello, se utilizó una impresora 3D de tecnología FDM, con múltiples colores de filamento, para ejemplificar de forma más cercana las piezas reales. Como guía para su ensamble, las piezas se acompañaron con un plano en explosión más un listado de los componentes.

Figura 8: Prototipo previo de juguete del Quetzal-1 exterior



Fuente: imagen propia

La estructura está compuesta de cuatro piezas y seis PCBs externas, con las celdas solares y fotodiodos fijas más un modelo simplificado del imán removible. Dicha estructura se acopla por medio de cuatro tornillos por lado.

El modelo cuenta con cuatro tarjetas para componentes. La primera de ellas posee dos bloques desmontables para simbolizar la computadora de abordo (OBC) y el sistema de comunicación (COMMs). En la segunda tarjeta está un bloque desmontable más para representar el sistema de energía eléctrica (EPS) del satélite más simplificaciones de empaquetados de integrados principales. En la tercera y cuarta tarjeta cuenta con la simplificación de tarjetas del motor y la unidad de medición inercial (IMU) más un modelo de cámara, motor y carrusel de filtros desmontables (Carga Útil) (Paz & Saavedra, 2020).

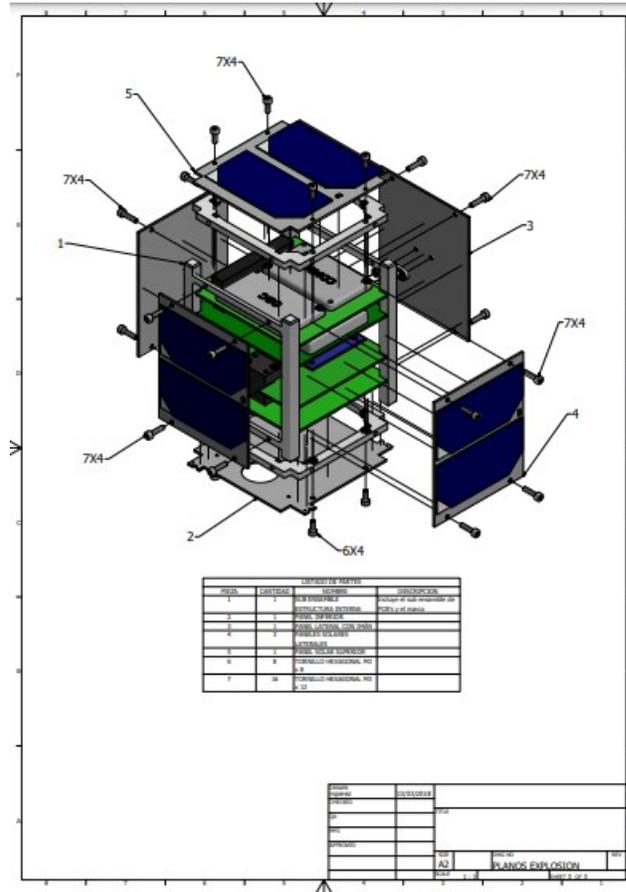
Figura 9: Prototipo previo de juguete del Quetzal-1 interior



Fuente: imagen propia

Por último, se generaron una serie de planos mecánicos para el dicho prototipo. Estos mismos planos se utilizaron como manual de ensamblaje para los estudiantes. A ciertos estudiantes al principio se les complicó el ensamblaje debido a la inexperiencia o poco conocimiento de planos mecánicos (Paz & Saavedra, 2020).

Figura 10: Planos juguete previo CubeSat Quetzal-1



Fuente: Departamento Ingeniería Mecánica Universidad del Valle de Guatemala

4.3. Juguetes

Un juguete según su definición más sencilla es un objeto que sirve para entretenerse (Real Academia Española, 2022). Este objeto está diseñado y elaborado con el fin de divertir, enseñar, entretener y/o estimular a una persona.

Figura 11: Cubo de Rubik



Fuente: imagen propia

4.3.1. Clasificación para juguetes

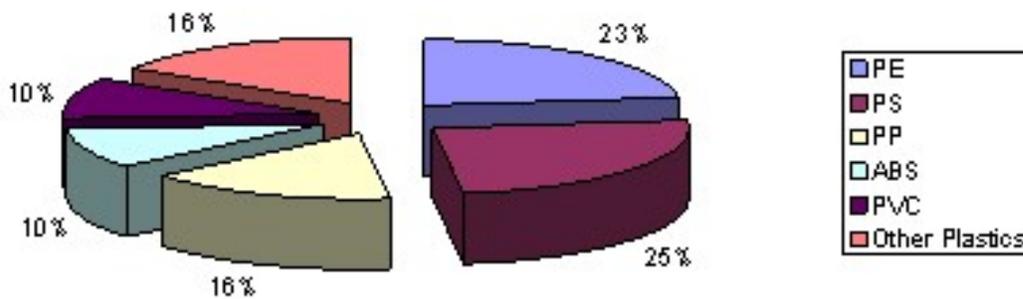
Existen diversas maneras y/o rubros para poder clasificar juguetes. Sin embargo, se debe tomar en consideración los múltiples factores y variables que pueden afectar dicha clasificación. Un mismo juguete se puede encontrar en dos o más apartados. Mientras más sean los apartados en los que se encuentre, mayor será su potencial educativo (Manualidades y Labores, [s.f.](#)). Algunas de las maneras para clasificar juguetes de pueden ser:

- Por edad
- Por lugar
 - Mesa
 - Electrónicos
 - Exterior
- Por tipo
 - Bélicos
 - Eléctricos
 - Didácticos
 - Deportivos
 - Simbólicos
- Por capacidad a desarrollar
 - Cognitivos
 - Motricidad
 - Sociabilidad
 - Comunicación

4.3.2. Materiales para juguetes

Para la fabricación de juguetes se utilizan diversos materiales como la madera, plástico, textiles, metal, hule, etc. Sin embargo, el principal componente utilizado en los juguetes es el plástico; entre los cuales se encuentran las poliolefinas (polietileno, polipropileno, EVA, etc.), los polímeros derivados del estireno (PS, ABS, SB, etc.) y el PVC plastificado, siendo este último el más utilizado en este sector (Ibáñez & Martínez, 2010). Hoy en día, la mayoría de juguetes producidos son creados a partir de procesos de moldeo por inyección. Este proceso utiliza polímeros termoplásticos debido a sus propiedades (se detallan en la sección 5.4), entre los cuales se incluyen los polímeros el PVC, PP, HDPE, Policarbonatos, PE y ABS, entre otros; siendo el PE y el ABS de los más utilizados.

Figura 12: Materiales plásticos utilizados en el sector del juguete (porcentaje)



Fuente: elaborado por Ana Ibáñez García, *Prospector*

4.3.3. Definición de un juguete didáctico

Un juguete educativo es un juguete que promueve el aprendizaje junto con el juego divertido. Estos juguetes promueven la educación del niño intelectual, emocional o físicamente (en algunos casos los tres) y ayudan al niño a aprender un tema o habilidad en particular (Illuminati, 2015, p.195).

4.3.4. Regulaciones para juguetes

Los juguetes eléctricos y otros productos eléctricos fabricados para niños pueden ser peligrosos si se usan incorrectamente o si no se diseñan y/o construyen de manera adecuada. Se corre el riesgo de tener descargas eléctricas, quemaduras y una amplia variedad de peligros mecánicos comunes a los juguetes en general, como bordes y puntas afilados y piezas móviles peligrosas.

En 1973, la Comisión de Seguridad de Productos para el Consumidor de EE. UU. (CPSC) emitió normas de seguridad bajo la Ley Federal de Sustancias Peligrosas para juguetes operados eléctricamente destinados a ser operados desde Circuitos derivados de 110-125 voltios. Estas normas de seguridad especifican, fabricación, construcción y requisitos de

rendimiento destinados a reducir el riesgo de lesiones por estos productos. Además, las regulaciones exigen etiquetas de precaución obligatorias tanto en los artículos como en sus paquetes de estantes. También se emitieron reglamentos complementarios sobre juguetes para puntas afiladas, bordes y piezas pequeñas (U.S. CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, [s.f.](#)). Los requerimientos del CPSC para los componentes mecánicos dictan que:

- Las carcasas deben ser lo suficientemente fuertes y rígidos para preservar la seguridad e integridad de los componentes eléctricos, incluso cuando el juguete está sometido a un abuso.
- Los componentes móviles del juguete deben estar encerradas o protegidas para minimizar la posibilidad de contacto entre ellas.

4.4. Polímeros para inyección

Hoy en día, los plásticos son uno de los materiales más utilizados en el mundo. Este tipo de material se puede encontrar desde construcciones, vehículos, envases hasta equipo médico. El término plástico se refiere a los productos hecho a partir de polímeros por medio de diferentes procesos tales como moldeo por inyección, extrusión, moldeo por soplado, moldeo rotacional, termoformado, etc. Un polímero determinado se puede utilizar en uno o varios tipos de productos, como adhesivos, recubrimientos, elastómeros, fibras, etc. Los polímeros son compuestos de gran peso molecular o materiales formados por unidades monoméricas "mer". El término "poli" en polímero captura la esencia de muchos o más de uno en oposición a "mono" o simple . Estos términos se derivan de raíces griegas, mientras que mer se asocia con "meros" que significa parte (Ibeh, [2011](#)). Dentro de la rama de plásticos, estos materiales pueden estar clasificados por termoestables o termoplásticos.

Figura 13: Productos hechos a base de polímeros



Fuente: Dreamstime

4.4.1. Termoplásticos

Los termoplásticos son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, capaces de fundir y son, por tanto, reciclables. Este tipo de plásticos se fabrican y emplean en cantidades masivas. Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea (si se trata de un material amorfo) o una temperatura de fusión (si es un material cristalino) superior a la temperatura ambiente. Por lo general, los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son factibles de procesar y son bastante económicos. En cuanto a sus propiedades físicas, pueden cambiar de forma drástica sin un cambio de fase que se encuentre por debajo de su punto de fusión y por encima de transición vítrea (Universidad de Alicante, 2012). Entre las características de los termoplásticos están:

- Aislantes térmicos y eléctricos
- Fácilmente maleables con calentamientos.
- Resistentes, a nivel químico, en temperatura ambiente.
- Resistentes a la fluencia

De entre los termoplásticos se puede encontrar los siguientes materiales los cuales son utilizados en diferentes tipos de manufactura. A continuación, se menciona acerca de su composición y características al igual que ciertas aplicaciones.

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

El acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es un material ideal donde se requiere una calidad de superficie, solidez del color y brillo. El ABS es una mezcla de polímeros de dos fases; una fase continua de estireno-acrilonitrilo (SAN) confiere rigidez, dureza y resistencia al calor. Para impresión 3D posee una buena adherencia entre capas, especialmente cuando se imprime con un frente cerrado. Durante la impresión es capaz de soportar temperaturas de hasta 85° C (Ultimaker, 2021a). Debido a su buen equilibrio de propiedades; tenacidad, dureza y resistencia a la temperatura junto con su facilidad de moldeado y su acabado superficial de alta calidad, el ABS tiene una amplia gama de aplicaciones. Estos incluyen impresión 3D, juguetes de lego, electrodomésticos, cascos de seguridad, piezas de computadoras, piezas de automóviles, aplicaciones de aviones, etc. (British Plastics Federation, 2021a).

Figura 14: Variedad de piezas Lego producidas con ABS



Fuente: imagen propia

Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, este biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino.

El PLA tiene diversos usos en diferentes industrias. En la industria de plásticos el PLA es utilizado como precursor del ácido poliláctico para impresión 3D, en las curtiembres es utilizado para remojar los cueros y desencalarlos, en la producción de pinturas y resinas, puede ser utilizado como solvente y como removedor biodegradable y en la industria textil es ayudante en el teñido e impresión (Serna, [2003](#)).

El PLA es uno de los materiales con mayor utilización en impresión y prototipado 3D. Una de las razones es porque con este material se logra una excelente rigidez a la tracción y una calidad de superficie detallada, además se puede tener impresiones confiables a altas velocidades de impresión con alta precisión dimensional y un acabado superficial de calidad (Ultimaker, [2021b](#)).

Polipropileno (PP)

El polipropileno es un polímero saturado y es uno de los polímeros más versátiles disponibles con aplicaciones, tanto como plástico como como fibra, en prácticamente todos los mercados de uso de plásticos. El PP se puede procesar mediante prácticamente todos los métodos de procesamiento de termoplásticos, por lo que se puede encontrar en diversos artefactos como jaulas, juguetes, componentes médicos, tambores de lavadoras, estuches de baterías, tapas de botellas, etc (British Plastics Federation, [2021b](#)).

Se utiliza mucho en impresiones 3D debido a que es un material duradero y resistente a una amplia gama de productos químicos tanto de ácidos como de bases, tiene una resistencia a la fatiga excepcional, poseen altos niveles de tenacidad y un coeficiente de baja fricción, conserva su forma después de la torsión, flexión o flexión y debido a que es de baja densidad da como resultado piezas ligeras (Ultimaker, 2021c).

4.5. Uso de maquinado CNC para elaboración de juguetes

El mecanizado CNC (Control Numérico Computarizado) es un proceso controlado por un ordenador. En este proceso, de inicio se tiene algún tipo de bloque, barra o vara sólida de metal o de plástico a los que se les da forma retirando material de ellos mediante procesos de corte, perforación y amolado. A diferencia de la mayoría de los demás procesos de fabricación con plásticos, el mecanizado CNC es un proceso subtractivo, en el que se quita material de la pieza de dos formas: con una herramienta giratoria y la pieza fija (fresado), o haciendo girar la pieza con una herramienta fija (torneado) (Universidad Nacional Autónoma de México, 2008).

Los procesos de mecanizado tienen más restricciones de geometría de la pieza que la impresión 3D y requieren márgenes de tolerancia para el acceso de las herramientas. Sin embargo, es ideal para aplicaciones de piezas de plástico de bajo volumen que requieren geometrías difíciles de moldear. Estos procesos CNC se pueden utilizar para producir piezas auxiliares para la fabricación de juguetes como lo son bases de soporte o montajes así como moldes.

Con el mecanizado, el coste por pieza aumenta con la complejidad de la pieza, en donde se tiene costos de preparación bajos a moderados, pero puede producir componentes de plástico de alta calidad, con plazos de producción cortos a partir de una amplia gama de materiales. Este proceso suele tener un plazo de fabricación menor a las 24 horas, sin embargo, este tiempo puede variar según el tamaño, el diseño y la complejidad de la pieza. Además, se puede utilizar tanto en bajos como altos volúmenes de producción (Formlabs, 2021).

La mayoría de los plásticos duros pueden ser mecanizados, con algunas variaciones de dificultad. Algunos de los plásticos que se suelen mecanizar son el ABS, PA, PLA entre otros.

4.5.1. Centro maquinado Haas VF-1

La Haas VF-1 es una fresadora vertical de control numérico computarizado (CNC), la cual permite la elaboración de piezas de alta precisión (Haas Automation, 2022).

Figura 15: Centro maquinado Haas VF-1



Fuente: Haas

Esta máquina a través del ordenador, permite realizar procesos complejos de manera sencilla, donde el operador solo debe configurar los programas a utilizar por medio de softwares para diseño de piezas.

La máquina cuenta con las siguientes características:

Cuadro 1: Parámetros Haas VF-1

	SAE	Métrico
Potencia max. [hp/kW]	30	22.4
Recorrido en X [in/mm]	20	508
Recorrido en Y [in/mm]	16	406
Recorrido en Z [in/mm]	20	508
Peso [lb/kg]	7800	3539
Capacidad refrigerante [gal/L]	55	208
Velocidad husillo [RPM]	8100	
Fuente alimentación CA [VAC]	220	
Capacidad herramientas	20	

Fuente: Haas VF-1

4.6. Procesos de inyección para elaboración de juguetes

El proceso de moldeo por inyección es el proceso más utilizado para la fabricación en masa de piezas de plástico y consiste en inyectar en un molde un termoplástico fundido. El moldeo por inyección se puede definir como la técnica, o método de moldeo, en la que el polímero sintético, o resina, se funde y en estado líquido se inyecta a alta presión en un molde ce-

rrado, hasta llenar este completamente; el polímero se enfría dentro del molde y solidifica; finalmente se abre el molde y se extrae la pieza moldeada. Este ciclo se repite más de un millón de veces, produciendo millones de piezas de alta calidad con un coste inferior al de todos los demás procesos de fabricación (Suárez, 1995)

Los moldes para moldeo por inyección deben fabricarse con escasa tolerancia para producir piezas de alta calidad. Debido a las altas temperaturas y presiones que intervienen en el proceso, estos moldes son mecanizados a partir de ciertos metales. Este proceso puede ser utilizado para crear cualquier tipo de geometría, sin embargo, conforme más compleja sea dicha geometría incrementará también su costo. La creación de moldes nuevos para el moldeo por inyección es un proceso que puede tardar meses en completarse y sus costes pueden bastante elevado (Formlabs, 2021).

En el moldeo por inyección se puede utilizar casi cualquier tipo de plástico ya sea termoplástico o termoestable. El ABS, PA, PLA, PP son alguno de los materiales que comúnmente son utilizados para este proceso de fabricación. Un ejemplo de este proceso sería la empresa Lego. Ellos producen todos sus productos por medio de este proceso de manufactura. En la fábrica sede de Billund, se llegan a producir un total de 800 piezas por segundo, logrando fabricar alrededor del 80 % del total de sus piezas.

Figura 16: Molde inyección para bloque 2 X 4 Lego parte superior



Fuente: Lego

Figura 17: Molde inyección para bloque 2 X 4 Lego parte inferior



Fuente: Lego

4.6.1. Máquina APSX-PIM

La APSX-PIM es una máquina de sobremesa eléctrica de moldeo por inyección automática para la producción continua o de ciclo único de piezas de plástico (APSX, 2022).

Figura 18: Máquina APSX-PIM



Fuente: APSX

La máquina es controlada por un sistema eléctrico, el cual por medio sensores puede realizar un proceso de inyección continuo. El operador controla la máquina por medio de una pantalla táctil para el control operativo de la misma.

La máquina cuenta con las siguientes características:

Cuadro 2: Parámetros APSX-PIM

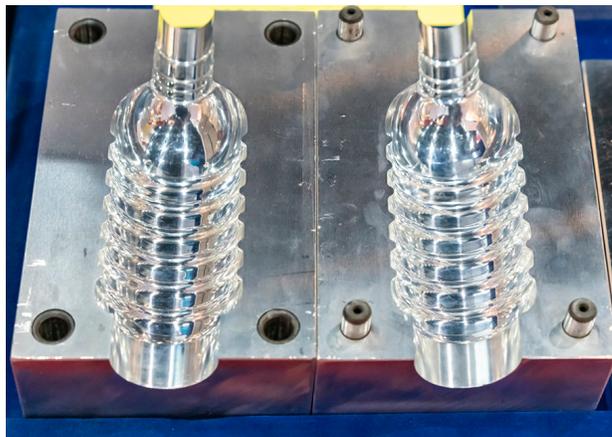
	SAE	Métrico
Pistón diámetro [in/cm]	1	2.54
Volumen inyección [cu-in/cu-cm]	1.83	30
Presión inyección [PSI/BAR]	5000	345
Fuerza sujeción [lbs/tons]	11023	5
Temperatura max. proceso [F/C]	600	315
Peso [lbs/kgs]	250	113
Tamaño molde [in/cm]	4.8(W) X 6(H)	12.19(W) X 15.24(H)
Dimensiones máquina [in/cm]	43(L) X 10(W) X 15(H)	109(L) X 25.4(W) X 48.3(H)
Fuente alimentación [V]	115	
Materiales inyección	PC, ABS, Nylon, PP, PS, PE, TPO	

Fuente: APSX-PIM

4.6.2. Moldes para inyección

Un molde de inyección es un elemento en donde se tiene la cavidad del producto que se desea realizar. Esta pieza permite contener el polímero fundido dentro de la cavidad del molde para que la misma puede llenarse completamente para formar un componente de plástico cuya forma replica la cavidad del molde.

Figura 19: Moldes usados para inyección



Fuente: Acermafe

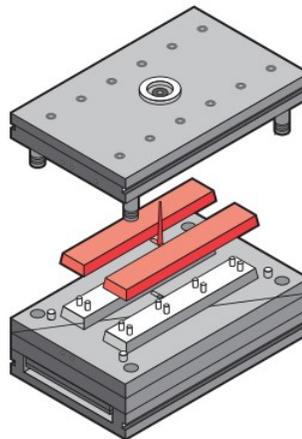
4.6.3. Tipos de moldes

En su mayoría, los moldes consisten de dos partes principales: la cavidad y el núcleo. El núcleo forma la superficie principal interna de la pieza. Por otra parte, en la cavidad se forman las principales superficies externas. Típicamente, el núcleo y la cavidad se separan conforme se abre el molde, para que la pieza pueda ser removida.

Molde de dos placas

El molde de dos placas consta de dos mitades de moldes que se abren a lo largo de una línea divisoria. El material entra en la cavidad del molde a través de una compuerta de bebedero, o indirectamente a través un sistema de corredores. La parte móvil del molde usualmente contiene un mecanismo de eyección parcial para la extracción de las piezas (LANXESS, 2007).

Figura 20: Molde de dos placas

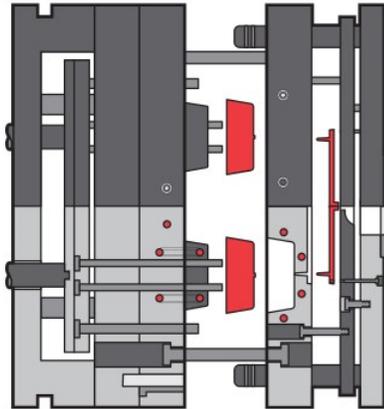


Fuente: elaborado por LANXESS, *Part and Mold Design*

Molde de tres placas

En la configuración de un molde de tres placas, se abre dos ubicaciones en lugar de una. Estas se separan entre sí en una secuencia específica. La diferencia entre este molde con uno de dos placas es que se añade una placa entre las placas móvil y la estacionaria.

Figura 21: Molde de tres placas



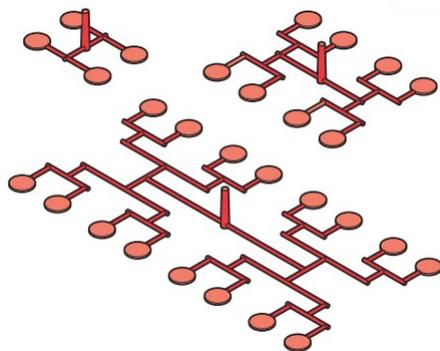
Fuente: elaborado por LANXESS, *Part and Mold Design*

4.6.4. Sistema de alimentación

El propósito del sistema de alimentación es transportar el polímero fundido desde la máquina a las cavidades del molde. El diseño de los sistemas de alimentación puede variar desde un sistema simple a uno complejo. Un buen diseño del sistema de alimentación puede proporcionar un tiempo de ciclo reducido y menos desperdicio de material. El diseño del sistema de alimentación varía según las necesidades de la pieza a ser fabricada, sin embargo, todos los sistemas de alimentación deben de contar con los siguientes elementos:

- Bebedero o Sprue
- Corredor o Runner
- Compuerta o Gate

Figura 22: Ejemplo de sistema de alimentación



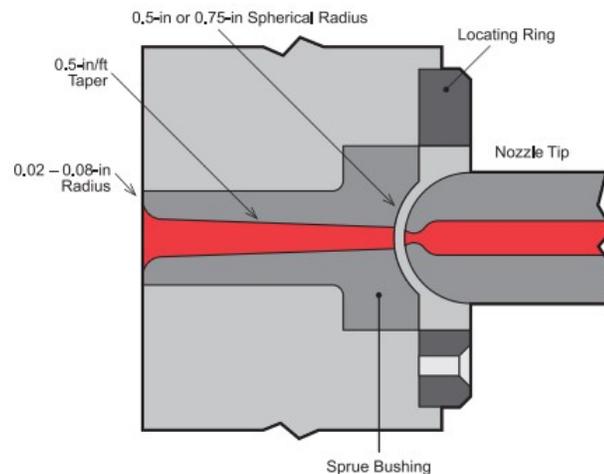
Fuente: elaborado por LANXESS, *Part and Mold Design*

4.6.5. Bebedero

El bebedero es el primer elemento del sistema de alimentación. Este se encuentra en paralelo a la unidad de inyección. El bebedero entrega el fluido a la profundidad deseada en el molde. De este elemento se generan los diferentes corredores para las piezas.

El diseño del bebedero puede afectar el moldeado, eficiencia y facilidad de procesamiento. En muchos moldes, la mayor restricción del flujo de material se produce en la punta de la boquilla de presión y en el orificio del bebedero. En estas áreas se genera caudal más alto de todo el sistema (LANXESS, 2007).

Figura 23: Buje del bebedero

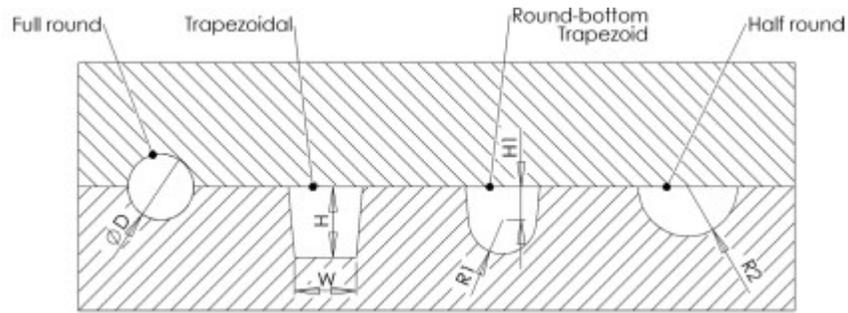


Fuente: elaborado por LANXESS, *Part and Mold Design*

4.6.6. Corredor

Después del bebedero se encuentran los corredores. Estos distribuyen el fluido desde el bebedero hasta la compuerta que se conecta a las piezas. Existen diversos tipos de compuertas como se aprecia en la siguiente Figura 24. Los corredores a menudo se mecanizan solo en el lado móvil del molde en donde, el corredor circular (full round) es el más utilizado para moldes; este permite un análisis y maquinado sencillo. Sin embargo, existen otros tipos de corredores como el trapecoidal, el trapecoide de fondo redondo (round-bottom trapezoid) y el semicírculo (half around) (Kazmer, 2016).

Figura 24: Tipos de corredores



Fuente: elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*

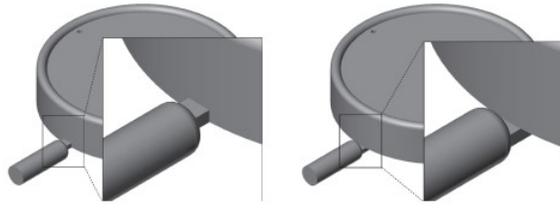
4.6.7. Compuerta

La compuerta es el elemento que une el corredor a la cavidad del molde. Un aspecto importante de este elemento es que proporciona una desconexión de la moldura ya sea de manera manual o automática. A continuación, se presentan algunos tipos de compuertas. Cabe mencionar que, al momento de la desconexión, en la pieza inyectada, se podrá observar una pequeña marca donde anteriormente se ubicaba la compuerta.

- Compuerta Bebedero
- Compuerta Pin-Point
- Compuerta de Borde
- Compuerta de Pestaña
- Compuerta de Ventilador
- Compuerta de Diafragma
- Compuerta de Submarino
- Compuerta Térmica
- Compuerta de Válvula

(Kazmer, 2016)

Figura 25: Diseños de compuertas



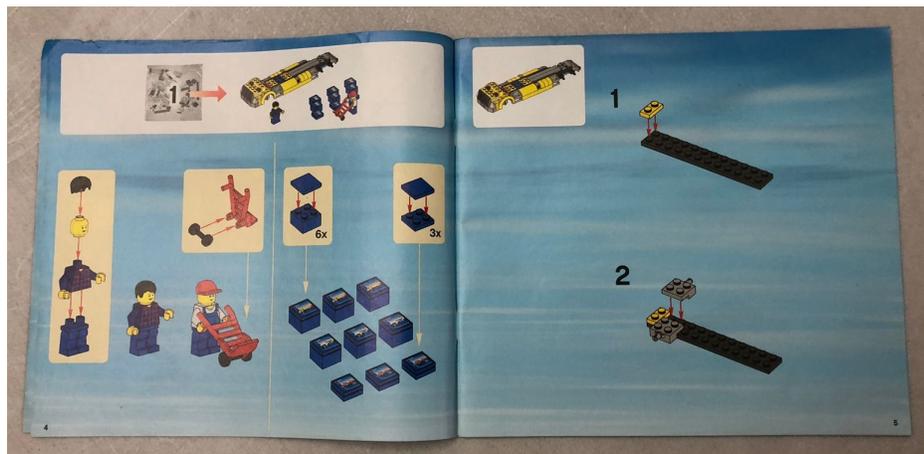
Fuente: elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*

4.7. Manuales

Un manual es un documento o guía que sirve para entender el funcionamiento o ensamblaje de algún objeto o sistema. Los manuales son de gran relevancia al momento de transmitir información; utilizando un lenguaje ameno y simple para llegar a la mayor cantidad posible de receptores. Además, estos sirven como método de ejecución en forma secuencial y sistemática para consecución de un fin. Estos documentos suelen utilizarse en juguetes que requiera algún tipo de ensamblaje entre alguno de sus componentes.

En el caso de la marca Lego, todos sus productos cuentan con manual de instrucciones. En ellos se presenta la secuencia necesaria para armar el juguete de manera fácil e intuitiva para que niños desde cuatro de edad puedan armarlos. En el caso de estos manuales no se presenta ni una sola palabra y se debe a los mismo; que están enfocados a niños pequeños sin mucho conocimiento lingüístico, además de que es una marca mundial, si se presentaran manuales con palabras, se tendría que producir los mismos con los todos los diferentes idiomas del mundo.

Figura 26: Manual de ensamblaje para juguete de Lego



Fuente: imagen propia

4.7.1. Imágenes en manuales

El uso de imágenes en manuales es cada vez más recurrente para ayudar al lector a entender de manera más sencilla e intuitiva el contenido del mismo. A continuación, se presentan algunos hechos que muestran el por qué es recomendable incluir imágenes en manuales, lo que refuerza también el por qué Lego solo utiliza símbolos y las mismas piezas de construcción para sus manuales.

- Más del 70 por ciento de los receptores sensoriales del cuerpo humano se encuentran en los ojos. Cuando el contenido necesita ser entendido, comunicado e implementado de manera rápida y efectiva, debe estar en un formato visual.
- Las personas pueden evaluar un entorno visual en menos de 1/10 de segundo. Una imagen o gráfico puede transmitir un significado hasta 60 000 veces más rápido que leer solo el texto.
- La información en formatos textuales, como palabras, conceptos o ideas, debe asociarse a una imagen para ser procesada y almacenada en la memoria a largo plazo.
- El uso de imágenes aclara el significado y refuerza el mensaje a ser transmitido.

(Doris, 2021)

5.1. Descripción de metodología

Se fabricaron los elementos estructurales de un juguete didáctico basado en el nanosatélite Quetzal-1. Para poder llevarlo a cabo fue necesario crear las piezas del juguete, como también se fabricaron los moldes para las mismas; todo por medio de un software de diseño asistido por computadora.

A partir de los diseños creados en el software, se fabricaron prototipos por medio de impresiones 3D para evaluar la funcionalidad de dicho diseño. Cuando los diseños no cumplieron con algún requisito o si no fue posible manufacturar la pieza o su molde, se realizaron iteraciones al diseño de los componentes hasta que se llegó a obtener un diseño final y así se manufacturó el en una máquina de control numérico (CNC) y obtener la pieza a partir de un proceso de inyección de plástico.

5.2. Requisitos

Cuadro 3: Requisitos del proyecto

Requisito	Código	Descripción
Requisitos de diseño	DIS-01	Las medidas básicas del juguete deben ser de 10 X 10 X 10 cm
	DIS-02	Todas las piezas deben de ser totalmente simétricas
	DIS-03	Los elementos de la estructura deben de ser de algún material plástico inyectable
	DIS-04	En las columnas de la estructura debe de haber una marca para indicar la orientación de la estructura
	DIS-05	Las columnas deben de tener algún tipo de ranuras para incorporar componentes del juguete
	DIS-06	El espesor del marco debe de ser de máximo 1 mm
	DIS-07	La unión a utilizar para unir el marco y las columnas debe de ser de un tipo de unión Snap-Fit
	DIS-08	Debe de haber máximo 3 ranuras para placas con componentes
	DIS-09	El material para las placas de componentes debe ser de acrílico
	DIS-10	Las planchas de acrílico deben de entre 1 a 2.5 mm de espesor
	DIS-11	El espacio entre las planchas debe de ser máximo de 3 cm
	DIS-12	El espacio entre las planchas y los marcos debe de ser máximo de 2 cm
Requisitos del manual	MAN-01	El manual de instrucciones debe tener en un listado con todas las piezas y sus cantidades
	MAN-02	El manual debe de interpretarse únicamente con imágenes y/o símbolos
	MAN-03	En cada página debe estar enumerado el paso correspondiente para la construcción del juguete
	MAN-04	En cada página debe de presentarse un máximo 2 pasos de construcción del juguete

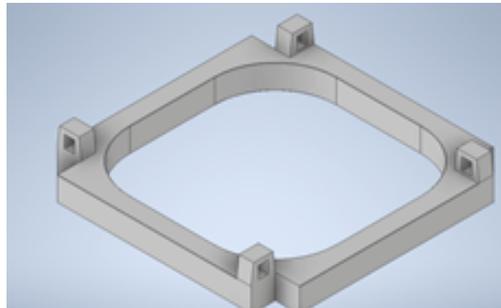
Fuente: elaboración propia

5.3. Diseños preliminares

Como se desea hacer un juguete basándose en el Quetzal-1, se realizaron varios diseños para la estructura basado en las medidas de los CubeSat, los cuales son 10 X 10 X 10 cm. La estructura está compuesta por cuatro columnas y dos marcos. El diseño de las piezas que conformarían la estructura del juguete, se realizó en el software de Autodesk Inventor.

En el primer diseño para el marco, se generaron unos agujeros en donde se insertarían las grapas creadas en las columnas y así unir ambas piezas de una manera rápida. Sin embargo, este modelo se descartó debido a que sobrepasaba el límite máximo de inyección de 30 cm³ al igual que no era posible manufacturar un molde de una sola cara a partir de esta geometría.

Figura 27: Diseño de los marcos para 1ra iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

La columna se diseñó con dos grapas por medio de la herramienta de diseño Snap-Fit, además de unas pestañas para evitar que el marco se moviera de su posición una vez estuvieran unidas ambas piezas. Este diseño se utilizó para las primeras dos iteraciones del diseño, pero luego se descartó debido a que la geometría era demasiado compleja como para realizarla en un molde de una sola cara.

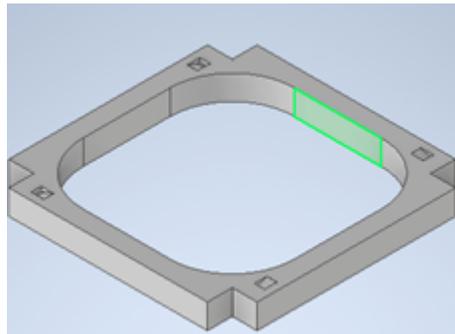
Figura 28: Diseño de las columnas para 1ra y 2da iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

En la segunda iteración del marco, se modificaron las secciones donde se acoplarían las grapas; para ello se generaron unas ranuras dentro del marco para permitir la unión con las columnas de una manera más sencilla.

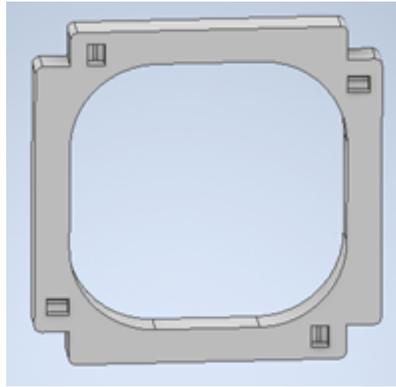
Figura 29: Diseño de los marcos para 2da iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

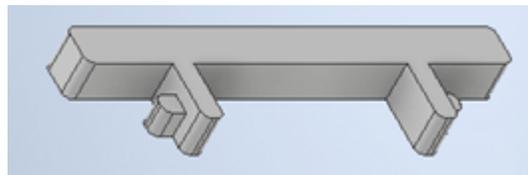
Por los problemas de la columna descritos anteriormente, se realizó una tercera iteración al diseño tanto de las columnas como a los marcos. En este diseño se modificó el método de sujeción para ambas piezas para facilitar el acople entre sí, además de que era factible reproducir las piezas a partir de moldes de una cara. Para las columnas se modificó completamente el sistema de sujeción; se cambió del gancho a una especie de unión cuadrada. En cambio, al molde para este nuevo diseño, solo se le modificaron los agujeros donde se insertan las columnas.

Figura 30: Diseño de marcos 3ra iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

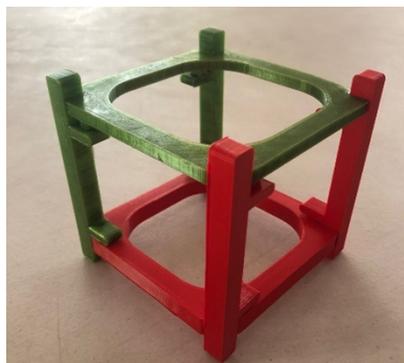
Figura 31: Diseño de columnas 3ra iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

De esta tercera iteración se realizó una impresión 3D en PLA de toda la estructura del juguete con un extrusor de tamaño de 0.4mm en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). De esta impresión se pudo observar las dimensiones principales del juguete al igual que los acoples entre las piezas. También se notó que los grados de tolerancia con este tipo de extrusor no fueron lo bastante buenos por lo que no permitió unir las piezas de manera adecuada.

Figura 32: Impresión 3D de la estructura vista isométrica



Fuente: imagen propia

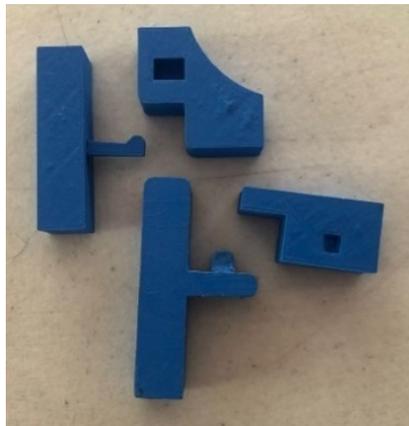
Figura 33: Impresión 3D de la estructura vista frontal



Fuente: imagen propia

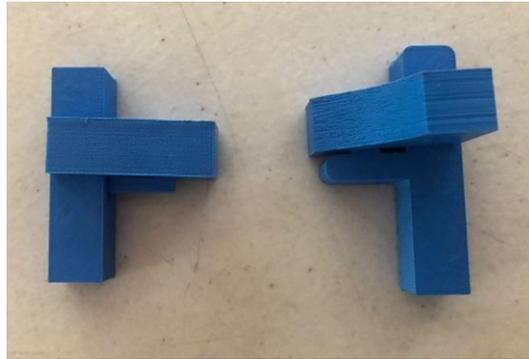
Debido a los problemas con las tolerancias, se decidió realizar una segunda impresión donde únicamente se imprimieran los puntos de unión de ambas piezas. Aquí se utilizó un extrusor de 0.25mm y con ello poder mejorar las tolerancias en las uniones (Figura 34). Se imprimió de nuevo las uniones de la tercera iteración además de un acople tipo de Snap-Fit utilizando una grapa. En esta nueva impresión se observó una mejoría en las tolerancias de las piezas, en donde ambos modelos podían unir sus piezas sin dificultad (Figura 35). Sin embargo, el acople tipo Snap-Fit funcionaba mejor que el acople de la tercera iteración.

Figura 34: Impresión 3D uniones



Fuente: imagen propia

Figura 35: Unión entre piezas

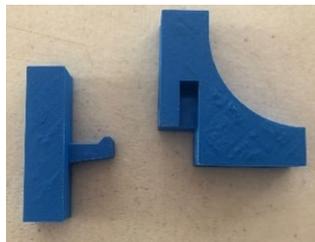


Fuente: imagen propia

Al observar que el acople tipo Snap-Fit funcionaba mejor que el otro acople como se observa en la Figura 35, se realizaron cinco diseños diferentes con acoples del tipo Snap-Fit. Estos nuevos modelos se imprimieron en una impresora 3D con un extrusor de 0.25mm.

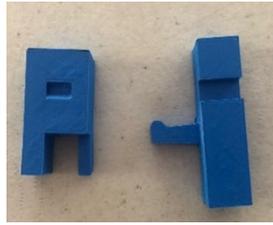
El primer acople (Figura 36) constaba únicamente de una grapa en la columna, mientras que, en el marco, se tenía una ranura para insertar todo el largo de la misma. El segundo modelo (Figura 37) poseía el mismo tipo de grapa que el del modelo uno, pero, además tenía una ranura que atravesaba lateralmente toda la columna; el marco por su parte contaba únicamente con una ranura para el gancho de la grapa y una pestaña extra para insertarla en la ranura de la columna. Como se observa en la Figura 38, el modelo tres era similar al segundo modelo solo que, con la diferencia que la ranura en la columna se encontraba en uno de los extremos. El cuarto diseño (Figura 39) consistía en un tipo de gancho más grueso que los modelos anteriores y poseía una ranura en el marco, como la del modelo uno, para insertar toda la grapa. Por último, el modelo cinco, mostrado en la Figura 40 consistía en el mismo tipo de gancho que el del modelo cuatro, pero siendo este un poco más grueso y con el tamaño de la grapa un poco más largo, además que, el marco poseía únicamente la ranura para el gancho como los modelos dos y tres.

Figura 36: Modelo 1



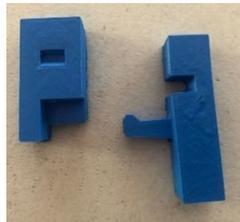
Fuente: imagen propia

Figura 37: Modelo 2



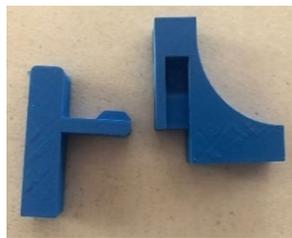
Fuente: imagen propia

Figura 38: Modelo 3



Fuente: imagen propia

Figura 39: Modelo 4



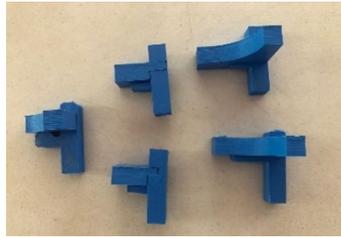
Fuente: imagen propia

Figura 40: Modelo 5



Fuente: imagen propia

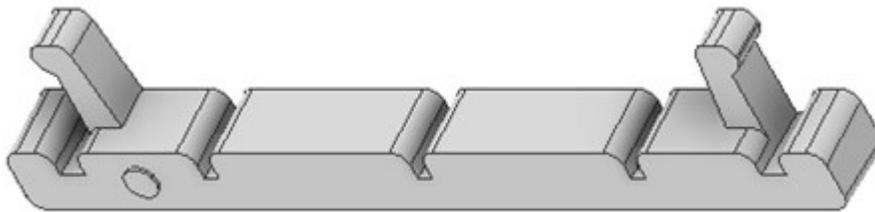
Figura 41: Uniones de los diferentes modelos



Fuente: imagen propia

De estos diseños se decidió por utilizar una combinación entre los modelos uno y dos, utilizando el mismo tipo de grapa usado en ambos modelos además de incluir en la columna una ranura ubicada arriba de la grapa que atravesase lateralmente la columna y una ranura en el marco para insertar toda la grapa. Con estas consideraciones en cuenta, se rediseñó la columna contemplando lo siguiente: (1) agregarle ranuras para unirse con el marco, (2) utilizar grapas tipo Snap-Fit, (3) se crearon tres ranuras extra para poder acoplar placas de acrílico que contengan componentes electrónicos, (4) se generó un círculo que funcione como marca de referencia al momento de acoplar dicha pieza con el marco y (5) se agregó un ángulo de desmoldeo a la pieza

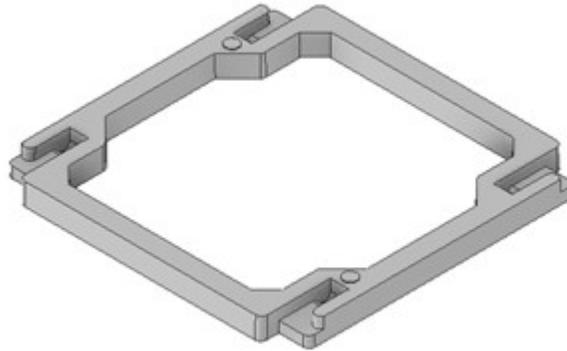
Figura 42: Diseño columna 4ta iteración



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

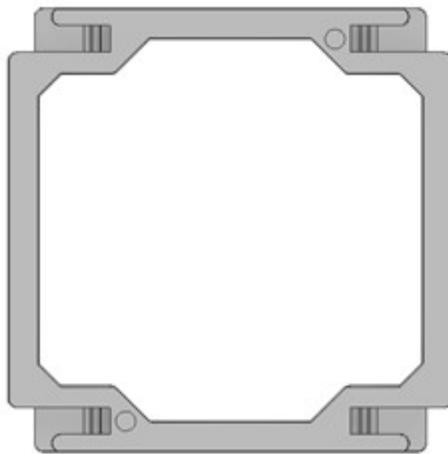
Del mismo modo, se rediseñaron los marcos realizando las siguientes modificaciones: (1) se cambiaron los radios de la parte interior del marco y fueron sustituidas con un diseño más cuadrado; esto con el propósito de reducir la cantidad de material a ser inyectado, permitir que haya un mayor espacio para los componentes electrónicos del juguete y para darle un estilo visual más llamativo. (2) Se creó una ranura para toda la grapa, (3) se agregó una pestaña que encaje en la ranura de la columna, (4) se agregó un círculo en dos esquinas opuestas del marco como marcas visuales y (5) se agregó un ángulo de desmoldeo a la pieza de 1.5 grados.

Figura 43: Diseño marco 4ta iteración vista isométrica



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 44: Diseño marco 4ta iteración vista frontal



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Después de haber creado las piezas con sus dimensiones nominales, las cuales se muestran en los cuadros 4 y 5, se procedió a crear cuatro diferentes modelos con distintas tolerancias a las secciones de las piezas que estuvieran en contacto entre sí. Estas secciones estaban conformadas por el grosor de la grapa, el grosor de la pestaña, el tamaño de las ranuras para la pestaña y el tamaño de las ranuras para la grapa. Para seleccionar el modelo ideal, se imprimieron nuevamente las uniones con sus respectivas tolerancias en una impresora de resina Stratasys Objet 30 con resina VeroWhite dentro de las instalaciones de la UVG. En los cuadros 6 y 7 se puede apreciar los diferentes modelos con su grado de tolerancia y su medida. Cabe destacar que se está utilizando las medidas máximas de las tolerancias seleccionadas.

Cuadro 4: Medidas nominales columna

COLUMNA	
Sección	Medida nominal (mm)
Tamaño de ranura	3.5
Ancho de la grapa	6

Fuente: elaboración propia

Cuadro 5: Medidas nominales marco

MARCO	
Sección	Medida nominal (mm)
Tamaño de la pestaña	3.5
Ancho del agujero para la grapa	6

Fuente: elaboración propia

Cuadro 6: Tolerancias para columna

COLUMNA Versión	Tamaño de ranura		Ancho de la grapa	
	Tolerancia (IT)	Medida (mm)	Tolerancia (IT)	Medida (mm)
1	H12	3.62	d9	5.97
2	H10	3.548	h9	5.97
3	H12	3.5	h8	6
4	H13	3.68	d8	5.952

Fuente: elaboración propia

Cuadro 7: Tolerancias para marcos

MARCO Versión	Tamaño de la pestaña		Ancho del agujero para la grapa	
	Tolerancia (IT)	Medida (mm)	Tolerancia (IT)	Medida (mm)
1	d8	3.47	H14	6.3
2	h8	3.5	H9	6
3	d9	3.44	H9	6.03
4	d9	3.44	H12	6.12

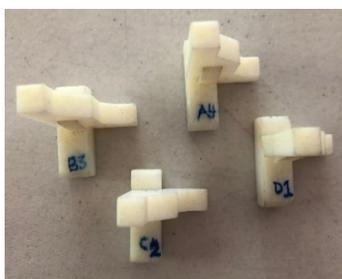
Fuente: elaboración propia

Figura 45: Impresión resina de las uniones



Fuente: imagen propia

Figura 46: Modelos con sus respectivas tolerancias



Fuente: imagen propia

De las diferentes versiones de tolerancias presentadas se escogió una combinación entre las versiones 1 y 2 para el diseño final. Estas tolerancias y medidas se pueden apreciar en el cuadro a continuación.

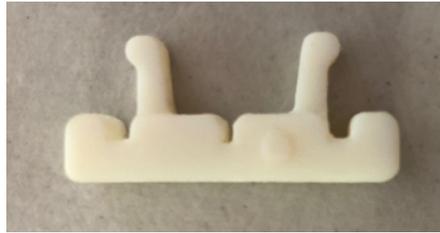
Cuadro 8: Tolerancias para diseño final

COLUMNA	Tamaño de ranura		Ancho de la grapa	
Versión	Tolerancia (IT)	Medida (mm)	Tolerancia (IT)	Medida (mm)
Final	H12	3.62	d9	5.97
MARCO	Tamaño de la pestaña		Ancho del agujero para la grapa	
Versión	Tolerancia (IT)	Medida (mm)	Tolerancia (IT)	Medida (mm)
Final	h8	3.5	H9	6

Fuente: elaboración propia

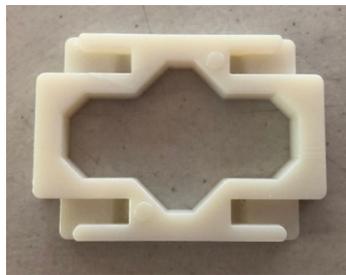
Lo siguiente que se realizó fue una versión miniatura de las piezas originales, las cuales se imprimieron en la impresora de resina para observar cómo sería el montaje de dichas piezas. Estas piezas se pueden observar en las figuras 47 y 48. De esta impresión se pudo observar que, al intentar ensamblar todos los componentes del juguete, dos columnas no podían ser ensambladas (Figura 49) por lo que se decidió cortarle a cada columna una de las grapas de sujeción y evaluar si era necesario colocarle las dos grapas a la columna.

Figura 47: Impresión columna mini



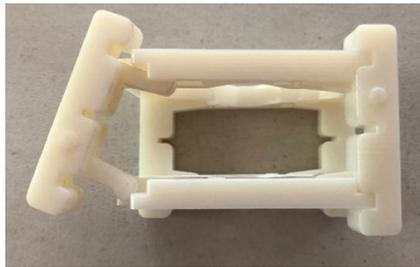
Fuente: imagen propia

Figura 48: Impresión marco mini



Fuente: imagen propia

Figura 49: Ensamblaje fallido



Fuente: imagen propia

Figura 50: Columna con una grapa



Fuente: imagen propia

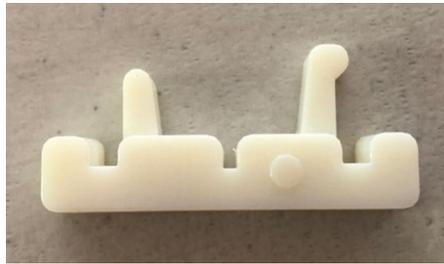
Al volver a ensamblar todos los componentes se notó que, en las secciones donde se habían eliminado las grapas, se presentaba un juego de alrededor de 1mm por lo que se decidió crear un nuevo modelo para las columnas. Este nuevo modelo contaba de nuevo con dos grapas, pero a una de ellas se le eliminó en gancho y con ello evitar los problemas mencionados con anterioridad. Este nuevo modelo se volvió a imprimir en resina y se observó cómo todas las piezas encajaban de forma adecuada como se muestra en la Figura 53.

Figura 51: Columna diseño final



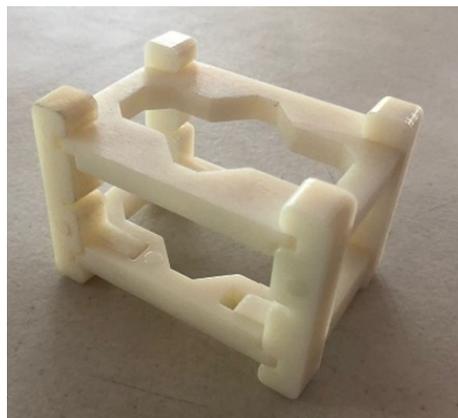
Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 52: Impresión columna final



Fuente: imagen propia

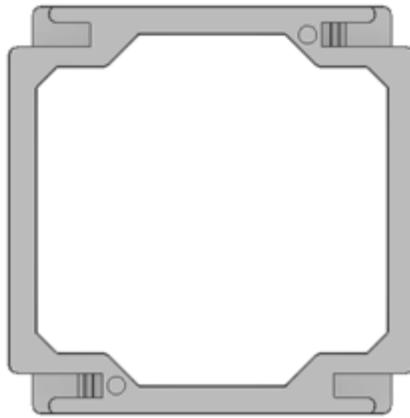
Figura 53: Ensamblaje juguete miniatura



Fuente: imagen propia

Para el diseño final de la columna se terminó utilizando un diseño con dos grapas de fijación, pero una de ellas sin el gancho en el extremo de la grapa (Figura 51) y con tres ranuras para colocar placas de acrílico que contengan los componentes electrónicos (los cuales no son parte de este proyecto). En el caso del diseño final del marco, este cuenta con las cuatro ranuras para las grapas, pero con una leve modificación del último diseño. A este nuevo modelo se le eliminaron las ranuras para los dos ganchos que fueron eliminados en las columnas, por lo que quedaron únicamente dos ranuras para ganchos y las otras dos ranuras quedaron planas como se puede ver en la Figura 54.

Figura 54: Diseño final marco



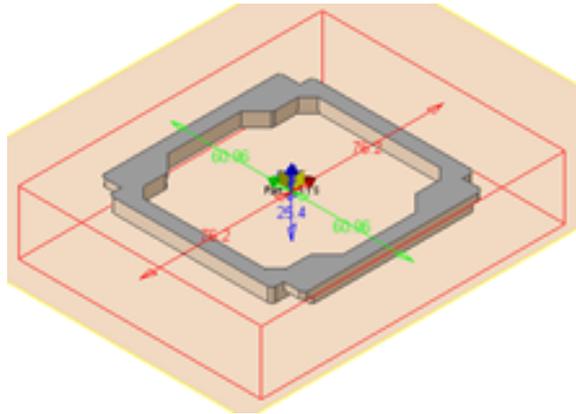
Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

5.4. Creación de moldes

Como se desea inyectar las piezas diseñadas en moldes, el apartado del software de Autodesk Inventor para simulaciones de plástico Mold Design permitió crear dichos componentes. Se realizó el mismo procedimiento a ambas piezas diseñadas.

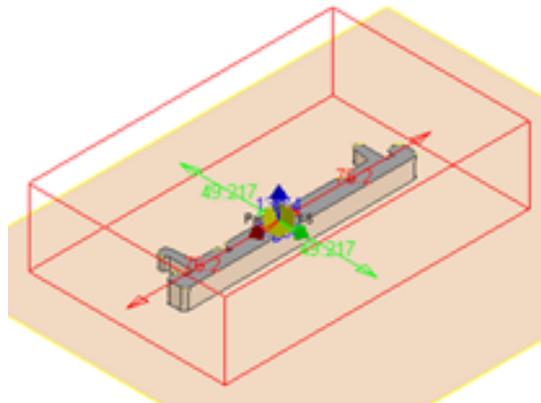
En el primer paso se seleccionó el material a utilizar; en este caso se utilizó el material HPDE genérico, seguido por la configuración de la contracción de la pieza. Como se configuró primero el material a utilizar, se generó automáticamente un valor para la contracción de la pieza con base en los parámetros de contracción de dicho material. En este caso fue 2.12% para ambas piezas debido a que este material tiende a contraerse de un 1.5% a un 4% y era un valor que el programa sugería por defecto. Como tercer paso, se seleccionaron los parámetros de la pieza de trabajo usando como base las medidas del molde original de la máquina inyectora. Dicho molde cuenta con las medidas de 6 X 4 X 1 pulgadas de largo, ancho y alto respectivamente.

Figura 55: Pieza de trabajo marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

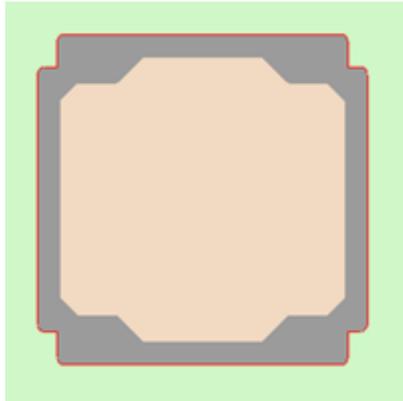
Figura 56: Pieza de trabajo columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

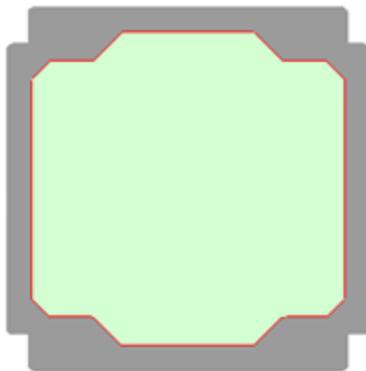
A continuación, se creó una superficie de partición. En esta operación se seleccionaron todos los bordes externos de las piezas, generando así un plano para la separación de la pieza con el molde. En el caso del marco, donde se tenía una superficie interna, se seleccionó la opción de crear superficie de parche, permitiendo así generar un plano entre los bordes internos de la pieza.

Figura 57: Superficie partición marco



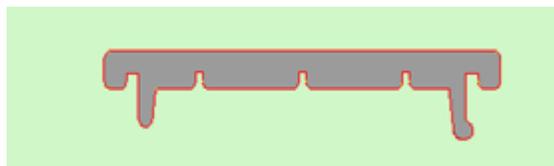
Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 58: Superficie parche marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

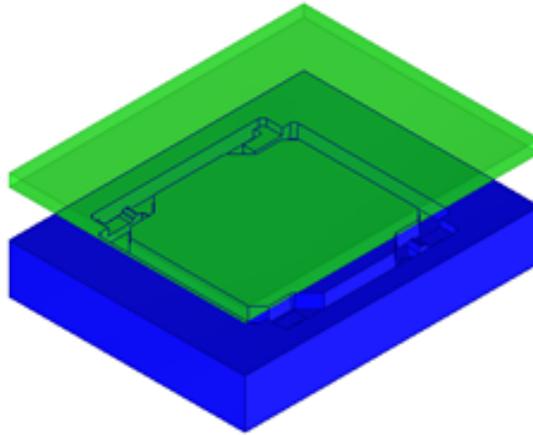
Figura 59: Superficie partición columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

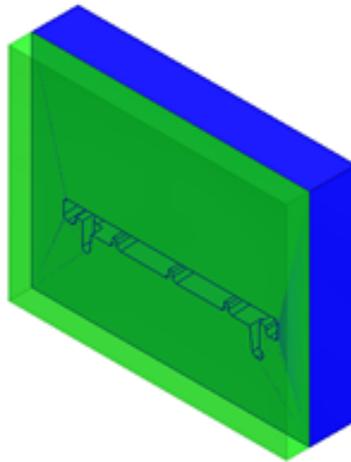
Lo siguiente fue generar el molde, el cual está conformado por una cavidad y un postizo. Este se genera de manera automática al tener una superficie de partición definida. En las figuras [60](#) y [61](#) se puede apreciar la separación de ambos componentes, donde la cavidad está en color verde y el postizo se encuentra de color azul.

Figura 60: Generación molde marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

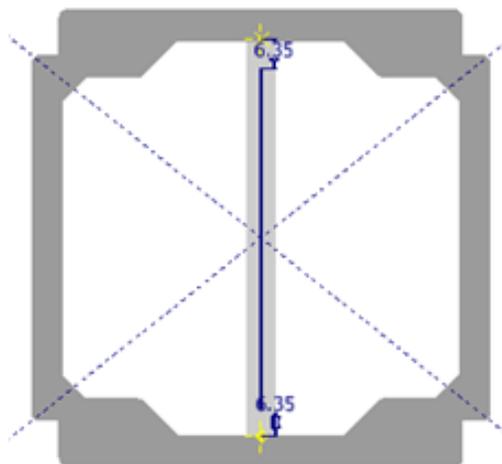
Figura 61: Generación molde columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

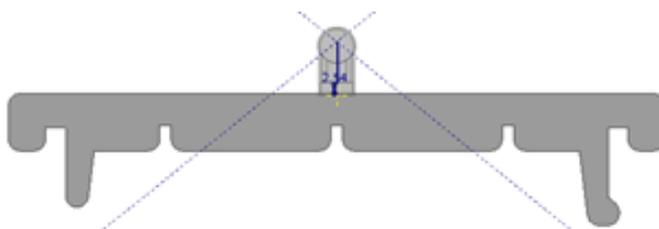
Al tener un postizo con el que trabajar, se prosiguió con la creación de los elementos que conforman el sistema de alimentación, siendo estos un bebedero, corredores y compuertas. Para poder incorporarlos, primero se tuvo que colocar las ubicaciones de los puntos de inyección en ambas piezas. En el caso de la columna sólo se requirió de un solo punto de inyección, el cual se encontraba en el centro de la pieza. En cambio, el marco, por ser una pieza bastante grande, se requirieron de dos puntos de inyecciones distintos. A continuación, en las figuras [62](#) y [63](#) se puede apreciar dichas ubicaciones como puntos amarillos.

Figura 62: Ubicaciones puntos de inyección marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 63: Ubicación punto inyección columna

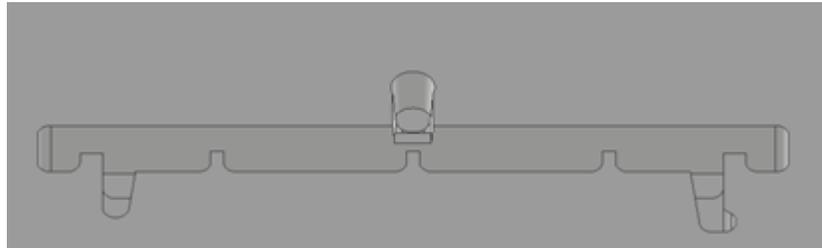


Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Lo siguiente fue generar todos los elementos del sistema de alimentación. Se empezó con los bebederos utilizando bebederos de pozo inclinado ubicados en el centro de ambos moldes. Su ubicación se debe a que permite el paso del material proveniente de un contra molde el cual posee un agujero en su centro. El diámetro del bebedero está basado en la medida del molde original de la máquina ASPX, mientras que la altura del mismo se creó a partir de las medidas utilizadas de un molde para una llave anticontacto elaborado por Edgar Antonio de León Kestler (de León Kestler, 2021). Se continuó con el diseño de las compuertas. Estas se utilizaron del tipo pestaña ubicada por medio de dos puntos. En el caso de la columna se optó por diseñar una única compuerta en el centro de la pieza, en cambio para el marco se utilizaron dos compuertas. El propósito que se tiene con las dos compuertas es rellenar la cavidad de manera más rápida a comparación de sólo si se tuviera una única cavidad. Las medidas de largo y el ancho de las compuertas se crearon a partir de las dimensiones utilizadas en el molde de la llave anticontacto, mientras que, para las alturas de la mismas, se dimensionaron por medio de iteraciones con base en los resultados obtenidos de simulaciones de inyección de plástico, donde se buscaba obtener la mayor cantidad de área verde posible en la pieza a ser inyectada. Cabe mencionar que las simulaciones de inyección se detallan

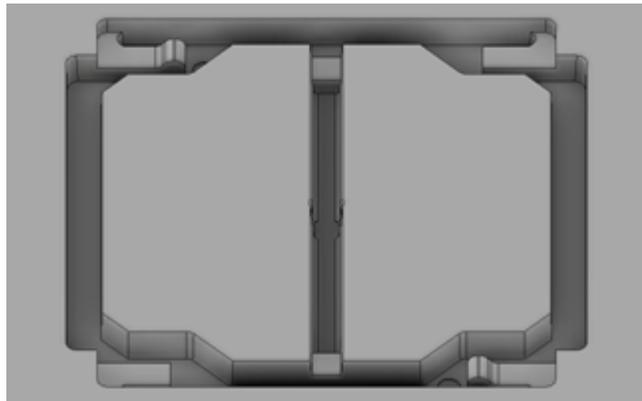
en la sección de resultados. Para los corredores se utilizó canales de alimentación del tipo trapezoide ancho. Las medidas utilizadas para la altura de los corredores se crearon de la misma manera que las alturas de las compuertas; por medio de iteraciones. El ancho de los canales se dimensionaron utilizando el molde de la llave anticontacto como referencia. En el caso del marco, el corredor une ambas compuertas, mientras que en la columna el corredor une el bebedero y la compuerta.

Figura 64: Cavity de la columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

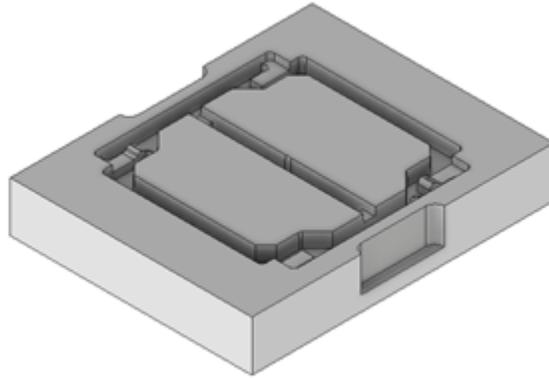
Figura 65: Cavity del marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

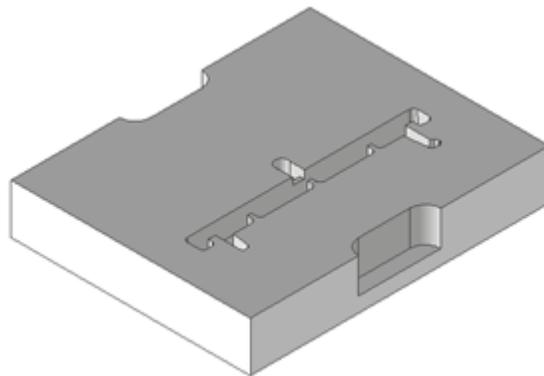
Para terminar, a ambos moldes se les generaron dos ranuras para poder se anclados a la máquina inyectora al momento de crear la pieza plástica.

Figura 66: Molde marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 67: Molde columna

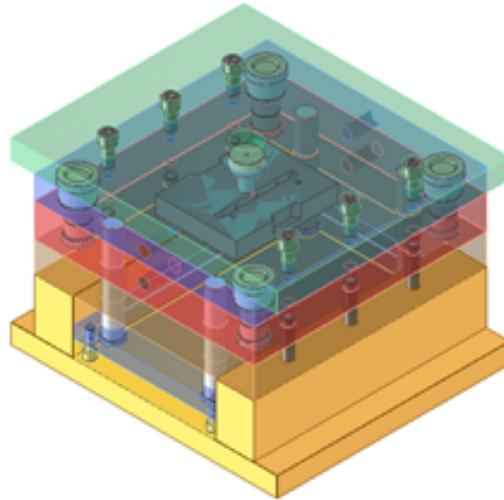


Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

5.5. Simulación de inyección

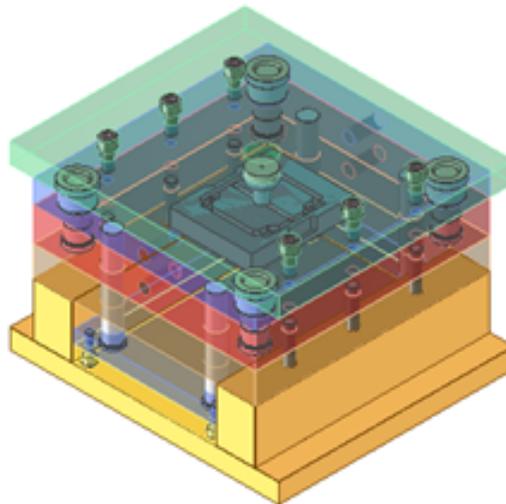
Para la simulación de inyección, la cual también se puede generar en Mold Design, se agregó una porta molde y un casquillo de bebedero para poder generar los resultados de dichas simulaciones. Para ambos casos se utilizaron los componentes que el programa generaba por defecto.

Figura 68: Visualización porta molde columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

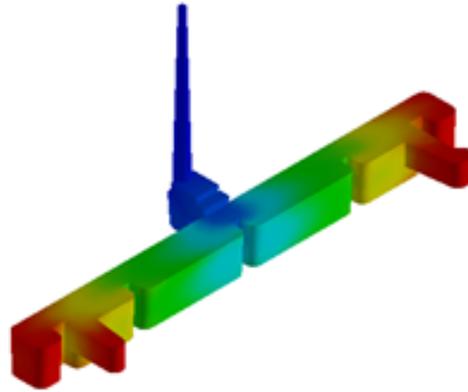
Figura 69: Visualización porta molde marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

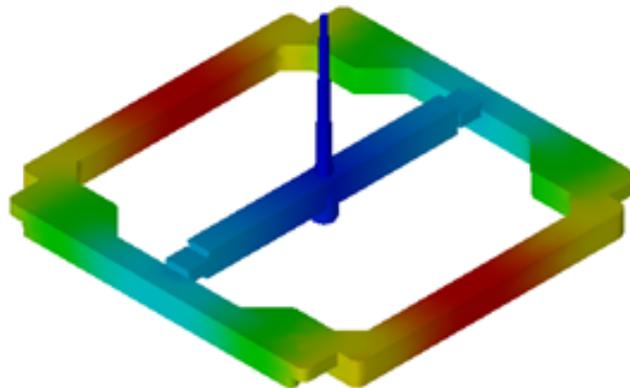
Para terminar, se seleccionaron los parámetros para la configuración del proceso de pieza. Aquí se modificaron los parámetros de la temperatura del molde y la presión máxima de inyección. En este caso para ambas piezas se seleccionaron 60°C de temperatura del molde, debido a que es el valor máximo permitido y una presión máxima de 34.5 MPa, la cual es la presión máxima de la inyectora presente en la UVG. Con estos parámetros se realizó un análisis de llenado del molde para obtener así los resultados de las simulaciones de ambas piezas.

Figura 70: Ejemplo de simulación de llenado de columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 71: Ejemplo de simulación de llenado de marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

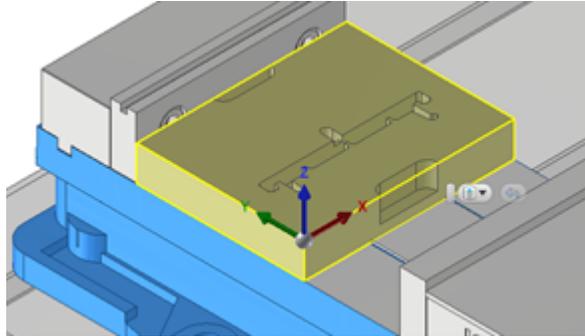
5.6. Proceso de maquinado

La simulación del proceso de manufactura para las piezas a inyectar, se realizaron nuevamente en el software Autodesk Inventor; con el fin de generar un código G que sirva para maquinar las cavidades en moldes de aluminio 6061 de 6 X 4 X 1 pulgadas en el centro de maquinado vertical Haas VF1 que posee la Universidad del Valle de Guatemala. Los moldes que se utilizaron en esta simulación provienen de los moldes generados durante las simulaciones de inyección de plástico descritos anteriormente.

Para el maquinado de ambos moldes se establecieron los mismos parámetros para que la máquina trabajara de forma correcta y segura. Los parámetros seleccionados fueron: (1) la selección del modelo para los cálculos de las rutas de las herramientas, (2) el origen de

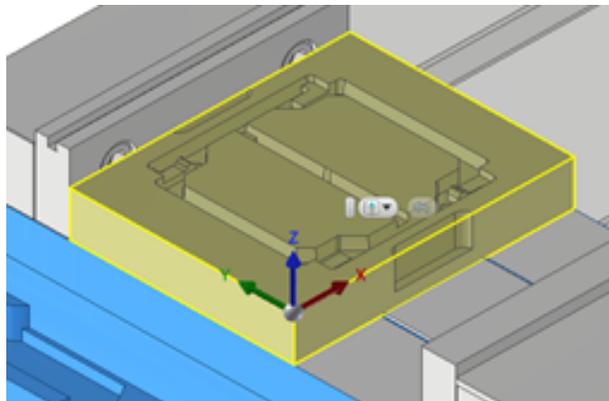
la pieza, ubicada en la esquina inferior izquierda de la cara superior del molde y (3) se seleccionaron los parámetros de corte para las herramientas.

Figura 72: Configuración simulación CAM columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

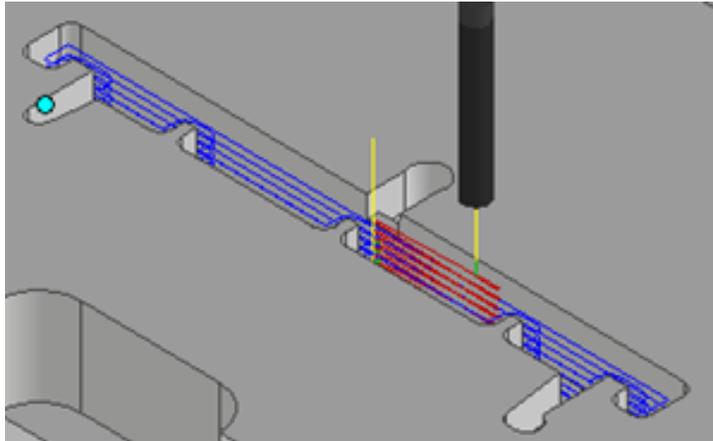
Figura 73: Configuración simulación CAM marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

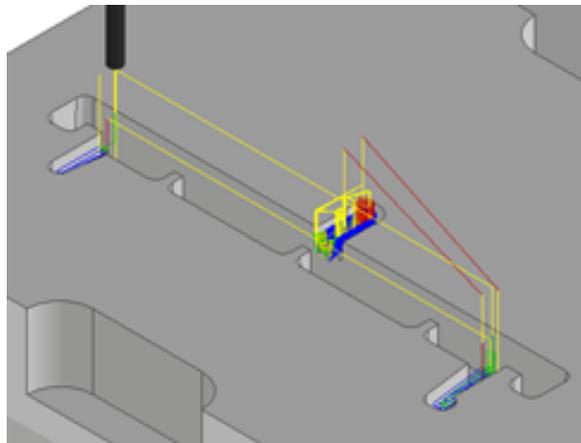
En el caso del molde de la columna, se establecieron nueve procesos distintos para generar la cavidad. Para ello se utilizaron cuatro herramientas diferentes. El proceso inició realizando un desbaste o vaciado a la cavidad principal de la pieza con una fresa plana de 3/16 pulgadas. Se utilizó dicha herramienta debido las pequeñas dimensiones de la pieza y para no sobrecargar herramientas más pequeñas. El segundo proceso se realizó con una fresa plana de 1/8 de pulgada para el desbaste de las cavidades más pequeñas de la pieza, seguido por el desbaste del canal de alimentación. La siguiente operación fue realizar un contorno 2D tanto al círculo que representa la marca visual como a una sección del bebedero.

Figura 74: Operación 1 columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

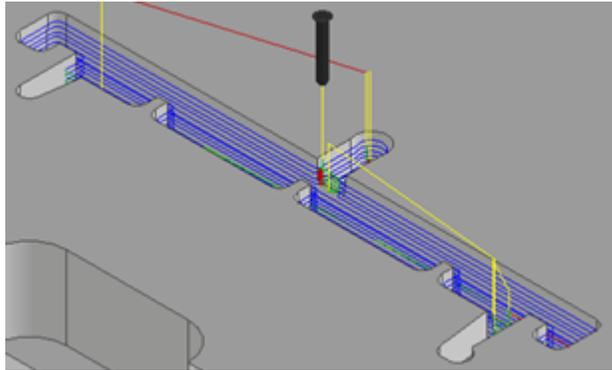
Figura 75: Operaciones 2 a 5 columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Se continuó el maquinado con un cambio de herramienta a una fresa de bola de 5/32 pulgadas. Esta herramienta debido al redondeo permite desbastar las secciones con ángulos de desmoldeo con un mejor acabado superficial en comparación de una herramienta de punta plana. Por esta razón se utilizó para realizar un contorno 3D en la cavidad de la pieza, seguido de otro contorno 3D en el canal de alimentación.

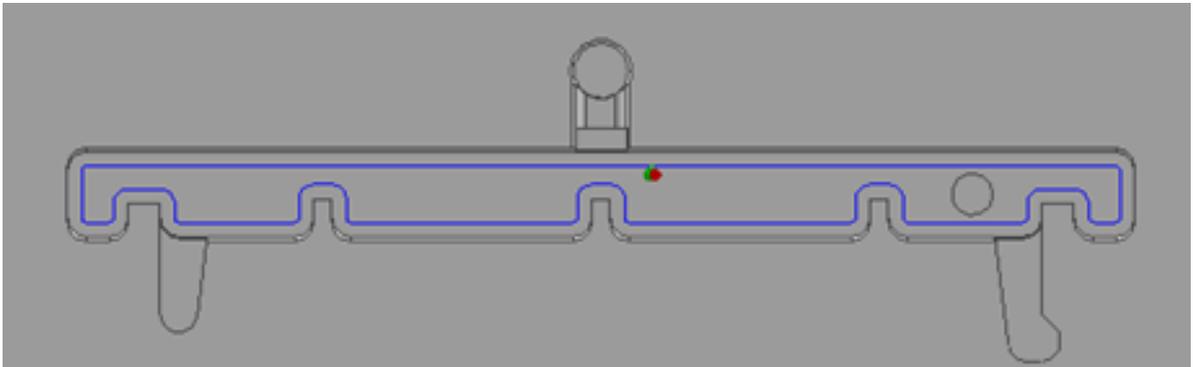
Figura 76: Operaciones 6 y 7 columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

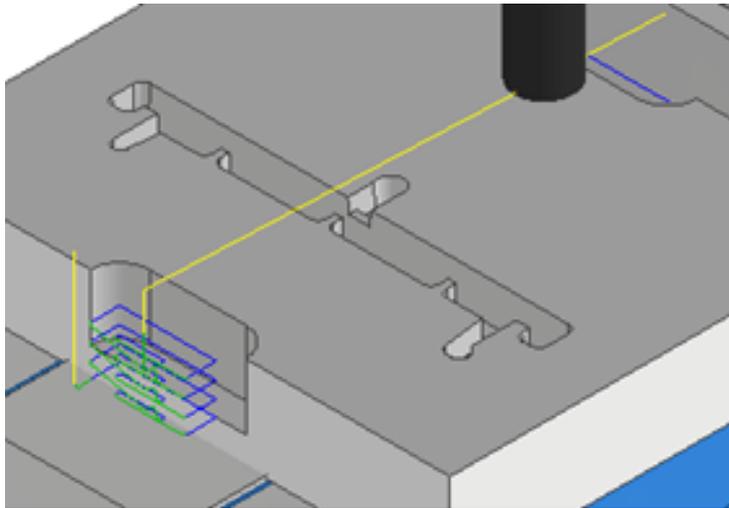
La octava operación consistió en un contorno 2D de la parte inferior de la cavidad únicamente para afinar la superficie inferior de la columna. Para ello se utilizó nuevamente la herramienta de 1/8. Por último, se realizó un desbaste a las ranuras del molde, por lo que se utilizó una fresa de punta plana de 5/8 de pulgada. Esta herramienta, al ser una de las más grandes presentes en el taller permite desbastar gran cantidad de material en un tiempo reducido.

Figura 77: Operación 8 columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 78: Operación 9 columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

A continuación, se puede apreciar un cuadro con los parámetros más importantes de cada operación junto con el tiempo para el maquinado de la columna.

Cuadro 9: Parámetros de operaciones maquinado columna

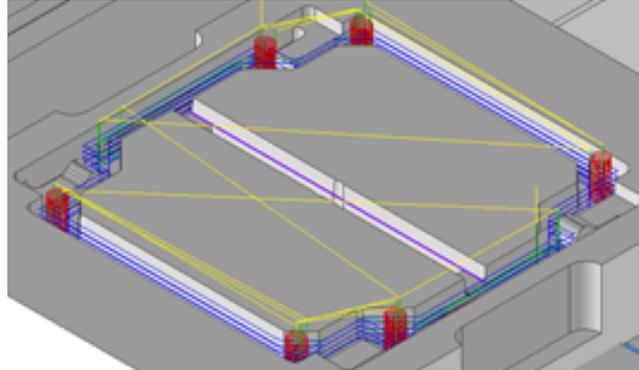
No.	Operación	Tipo operación	Herramienta	Diámetro	RPM	Filos	Avance		Empañe	Prof. Axial	Tiempo acumulado
							mm/min	in/min			
-	-	-	-	in	-	-	mm/min	in/min	mm	mm	min
1	Desbaste columna con 3/16	Vaciado 2D	Fresa plana	3/16	5000	2	1000	39.3701	2.5	1.5	03:18
2	Vaciado ganchos	Vaciado 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	1000	39.3701	1	1	05:16
3	Desbaste canal alimentación	Adaptativo 3D	Fresa plana	1/8	5000	2	1000	39.3701	1	1	10:12
4	Contorno ganchos	Contorno 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	1000	39.3701	-	-	11:00
5	Contorno marca	Contorno 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	1000	39.3701	-	-	11:04
6	Contorno columna	Contorno 3D	Fresa bola	5/32	5000	2	508	20	-	1	24:24
7	Contorno canal alimentación	Contorno 3D	Fresa bola	5/32	5000	2	508	20	-	1	26:14
8	Contorno final columna	Contorno 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	1000	39.3701	-	-	26:56
9	Desbaste pestañas	Vaciado 2D	Fresa plana	5/8	5000	3	1000	39.3701	7	4.5	28:00

Fuente: elaboración propia

Para el proceso de manufactura del molde del marco se establecieron catorce procesos diferentes para generar la cavidad. Para ello, se utilizaron cinco herramientas diferentes. El proceso inició realizando careado a la superficie del molde con una fresa de 5/8 pulgadas. Luego se realizó un desbaste a la cavidad principal de la pieza con una fresa plana de 3/16.

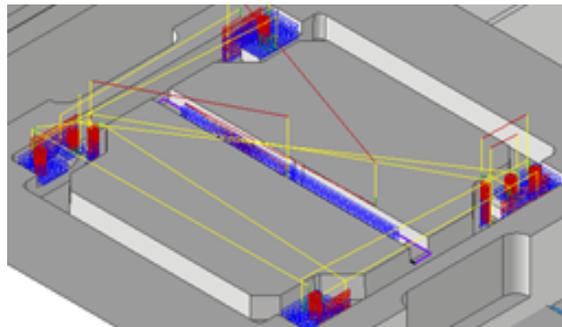
El tercer proceso se realizó con una fresa plana de 1/8 para el desbaste de las secciones más pequeñas de la pieza, seguido por el desbaste del canal de alimentación para luego terminar con un contorno 2D al círculo que representa la marca visual.

Figura 79: Operación 2 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

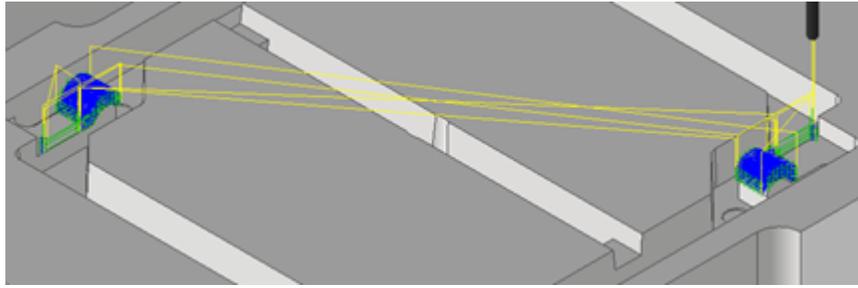
Figura 80: Operaciones 3 a 7 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

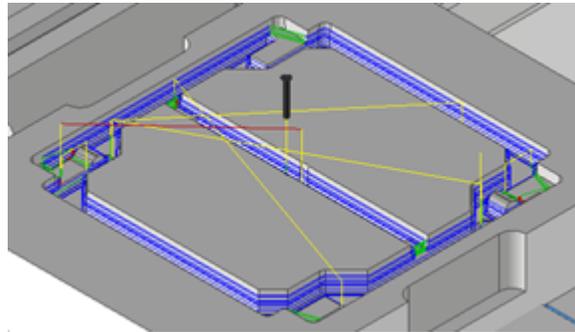
Para la octava operación, se realizó un cambio de herramienta a una fresa de bola de 5/64. Con esta herramienta se realizó un desbaste a las ranuras de las grapas ya que permite capturar los redondeos de manera sencilla además de dejar un mejor acabado superficial en dichas zonas a comparación de una herramienta de punta plana. Este desbaste se realizó en dos procesos separados para reducir el tiempo de maquinado

Figura 81: Operaciones 8 y 9 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

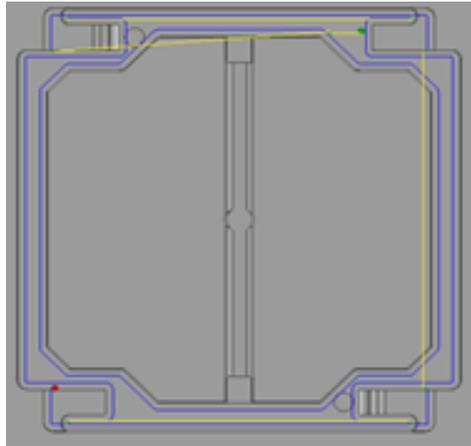
Figura 82: Operaciones 10 a 12 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

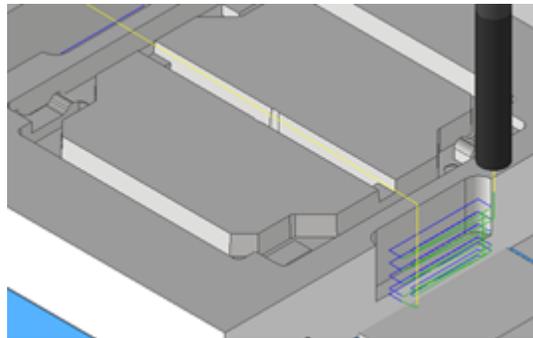
Se continuó el maquinado con un cambio de herramienta a la fresa plana de 1/8 para realizar un contorno 3D al marco y al canal de alimentación los cuales tenían un ángulo de desmoldeo, seguido con un contorno 2D de la parte inferior de la cavidad y así poder afinar la superficie inferior del marco. Por último, se realizó un desbaste a las ranuras del molde, por lo que se utilizó una fresa de punta plana de 3/8.

Figura 83: Operación 13 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 84: Operación 14 marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

A continuación, se muestra un cuadro con los parámetros más importantes de cada operación junto con el tiempo para el maquinado del marco.

Cuadro 10: Parámetros de operaciones maquinado marco

No.	Operación	Tipo operación	Herramienta	Diámetro	RPM	Filos	Avance		Empaño	Prof. Axial	Tiempo acumulado
							mm/min	in/min			
-	-	-	-	in	-	-	mm/min	in/min	mm	mm	min
1	Careado	Careado 2D	Fresa plana	5/8	5000	3	1000	39.3701	7	-	3:11
2	Desbaste marco con 3/16	Vaciado 2D	Fresa plana	3/16	5000	2	1000	39.3701	2	1.5	18:42
3	Desbaste 1/8 secciones faltantes P1	Vaciado 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	1	1	25:16
4	Desbaste 1/8 secciones faltantes P2	Vaciado 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	1	1	33:08
5	Desbaste canal alimentación	Vaciado 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	1	1	38:54
6	Contorno marca	Contorno 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	-	-	39:00
7	Desbaste ganchos P1	Vaciado 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	1	1	40:16
8	Desbaste ganchos P2 secc A	Paralelo	Fresa bola	5/64	5000	2	381	15	0.5	0.5	45:59
9	Desbaste ganchos P2 secc B	Paralelo	Fresa bola	5/64	5000	2	381	15	0.5	0.5	51:16
10	Contorno canal alimentación	Contorno 3D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	-	0.5	56:30
11	Contorno marco exterior	Contorno 3D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	-	0.5	1:06:02
12	Contorno marco interior	Contorno 3D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	-	0.5	1:18:37
13	Contorno final marco	Contorno 2D	Fresa plana	1/8	5000	2	660.4	26	-	-	1:20:09
14	Desbaste pestañas	Vaciado 2D	Fresa plana	3/8	5000	4	1270	50	4	4	1:21:25

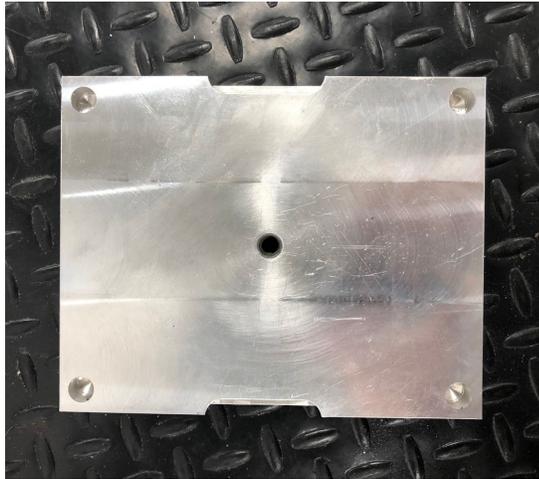
Fuente: elaboración propia

5.7. Proceso inyección

La primera inyección realizada fue al molde de la columna. La inyección de esta pieza no presentó complicaciones, pero para llegar a los parámetros finales, se tuvo que ir variando los parámetros de temperatura, presión y material de inyección hasta conseguir la pieza con las características deseadas. Dicha pieza se puede apreciar en la sección de resultados en la Figura [100](#).

Después, se realizó una inyección al molde del marco. Al hacerlo se notó cómo el material se escapaba por los agujeros del contra molde donde se ubican los tornillos que sujetan dicha pieza a la máquina. Por esta razón, se decidió por realizar un nuevo contra molde. Esta pieza fue proporcionada por parte de los encargados del taller de la universidad, en el cual se eliminaban los agujeros para los tornillos y a cambio se colocaron pestañas en los bordes de la pieza, como con los demás moldes, para sujetarla a la máquina.

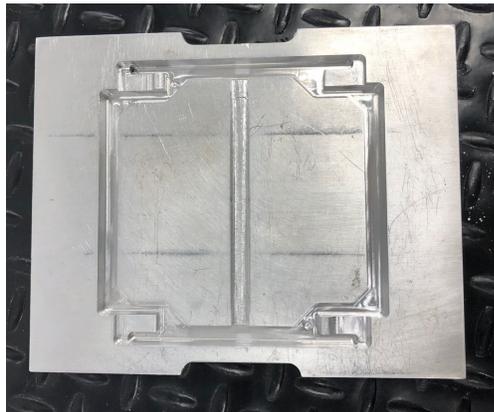
Figura 85: Contra molde utilizado



Fuente: imagen propia

También, para facilitar la inyección del molde, se modificó el sistema de alimentación al marco. Esta modificación constaba de un alza que se colocó a lo largo del corredor alimentación para reducir la cantidad de material que utilizaba el sistema de alimentación y a su vez aumentar la cantidad de material depositada en la pieza en sí. La modificación fue realizada por los encargados del taller de la universidad.

Figura 86: Molde marco con modificación al sistema alimentación



Fuente: imagen propia

Tras haber realizado ambas modificaciones, se procedió a realizar el mismo proceso de variar los diferentes parámetros de la máquina hasta poder obtener los parámetros finales de la pieza en cuestión; la inyección de dicha pieza se puede observar en las figuras [101](#) y [102](#) en la sección de resultados.

Para poder obtener los parámetros finales se realizaron alrededor de 60 intentos no satisfactorios. En la Figura 87 se aprecia uno de los intentos realizados antes de lograr obtener los parámetros finales, donde la pieza no se logra inyectar a su totalidad.

Figura 87: Pieza no inyectada a su totalidad



Fuente: imagen propia

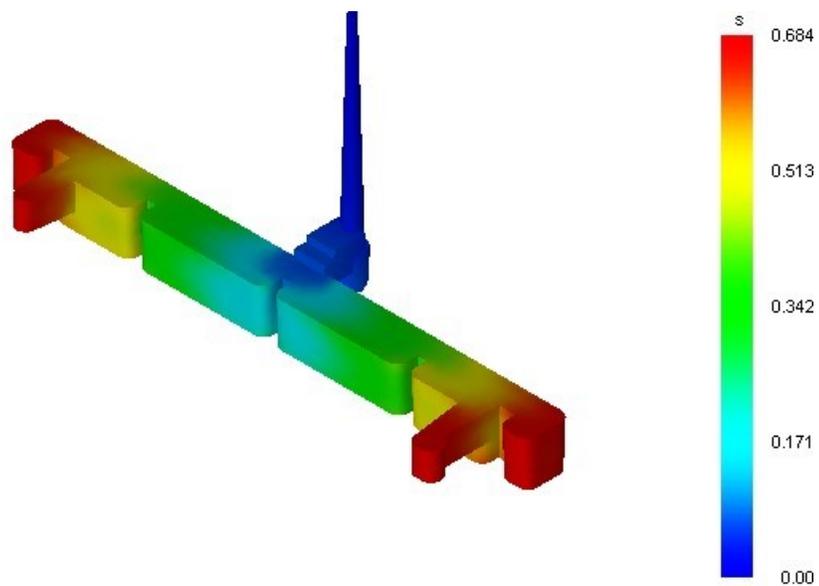
5.8. Planos mecánicos

Se creó el diseño del plano mecánico mediante el software de Autodesk Inventor 2023. En este, se realizó un plano inicial tanto de la columna como para el marco del prototipo de juguete, donde se muestran las dimensiones de la mismas. En un tercer plano se realizó un ensamblaje del juguete con las piezas diseñadas. Los siguientes dos planos contienen cada uno un molde; el primero, contiene un molde con la cavidad de la columna, mientras que el segundo contiene un molde con la cavidad del marco. En estos dos últimos planos se presentan las dimensiones básicas de los moldes como las dimensiones del sistema de alimentación para ambas piezas. Todos los planos se pueden encontrar en la sección de anexos.

6.1. Simulación de inyección

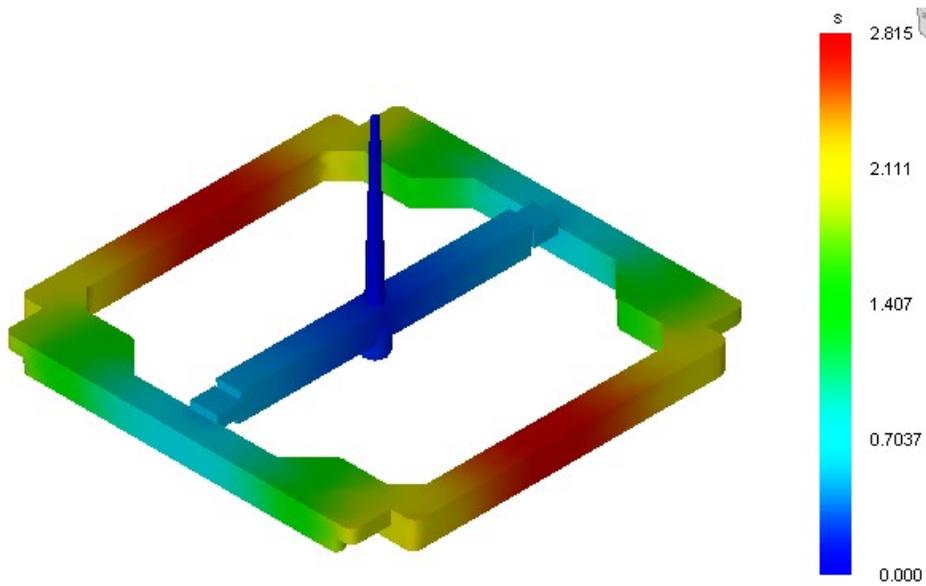
En las figuras 88 a 90 se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones de inyección de plástico realizadas para ambas piezas de la estructura.

Figura 88: Tiempo llenado columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

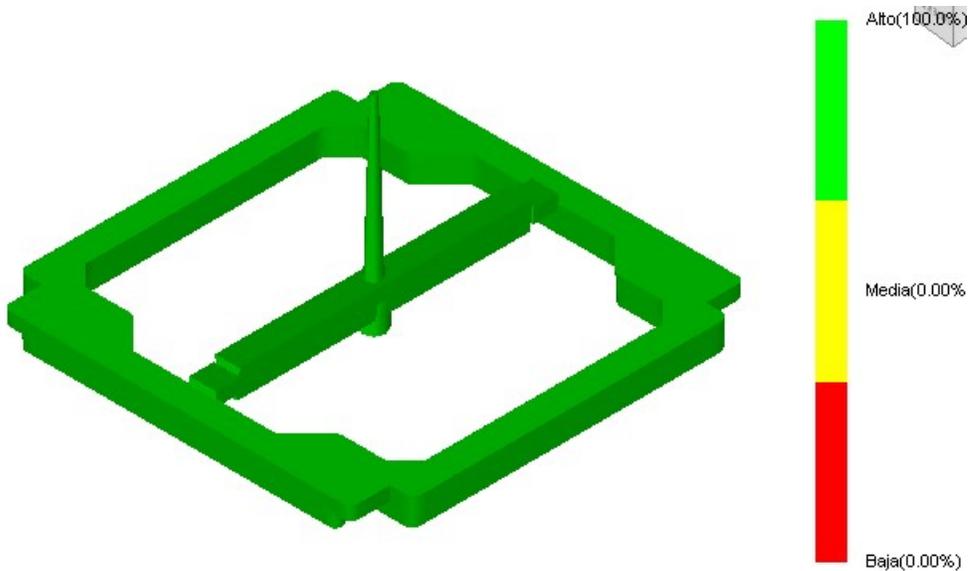
Figura 89: Tiempo llenado marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

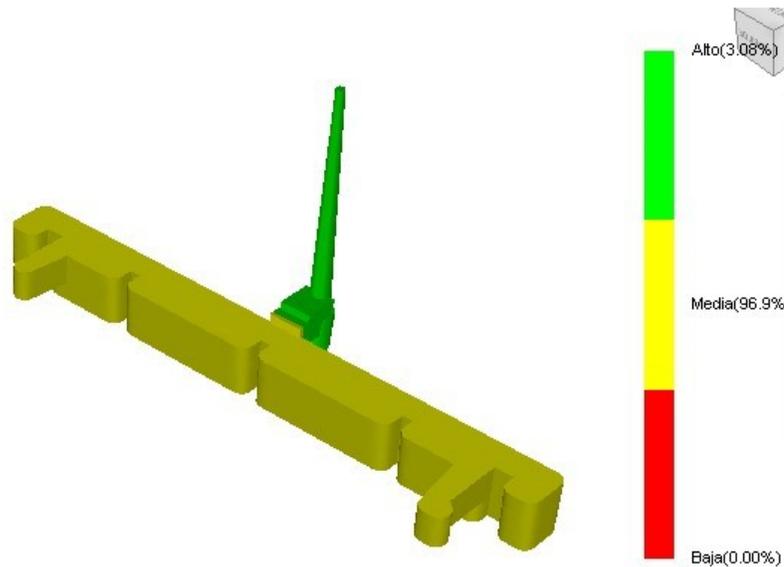
En las figuras [88](#) y [89](#) se puede apreciar los tiempos de llenado para la columna y para el marco respectivamente. Estas presentan una escala de colores que inicia en un color azul hasta llegar a rojo indicando el tiempo transcurrido en segundos para la inyección de la pieza en cuestión. Como se puede observar, se obtuvo un tiempo de llenado de 2.8 segundo para el marco y 0.7 segundos para la columna.

Figura 90: Predicción calidad marco



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Figura 91: Predicción calidad columna



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Se observa que, en las figuras 90 y 91 se presentan los resultados acerca de la predicción de calidad que tendrán ambas piezas al momento de ser inyectadas. La escala enseña los colores verde, amarillo y rojo los cuales representan una calidad alta, media y baja respectivamente. La predicción para el marco resulto con una calidad alta del 100 %, mientras que, la columna posee un 3 % de calidad alta y un 97 % de calidad media.

6.2. Maquinado CNC

En el cuadro a continuación, se presenta el tiempo de mecanizado para ambos moldes, siendo estos de 28 minutos y 1 hora con 21 minutos para la columna y el marco respectivamente.

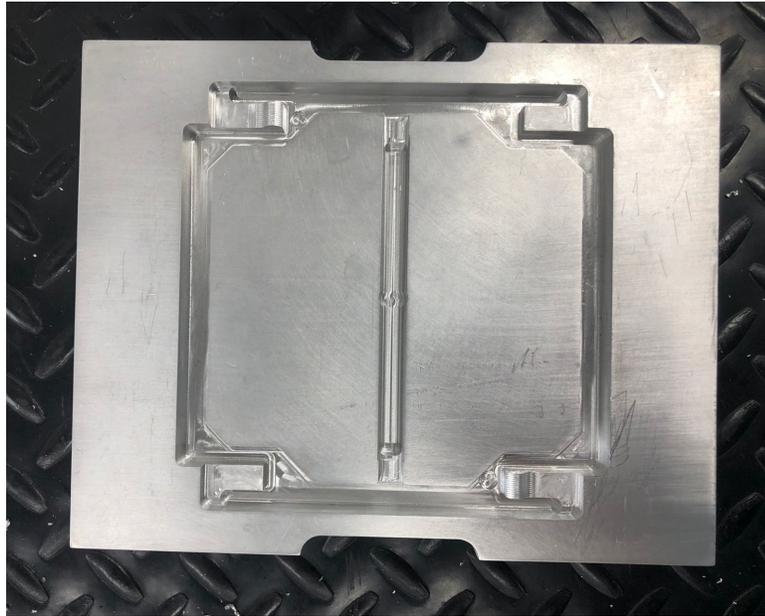
Cuadro 11: Tiempo de mecanizado de moldes

Molde	Tiempo
Columna	28 Minutos
Marco	1 Hora 21 Minutos

Fuente: elaboración propia

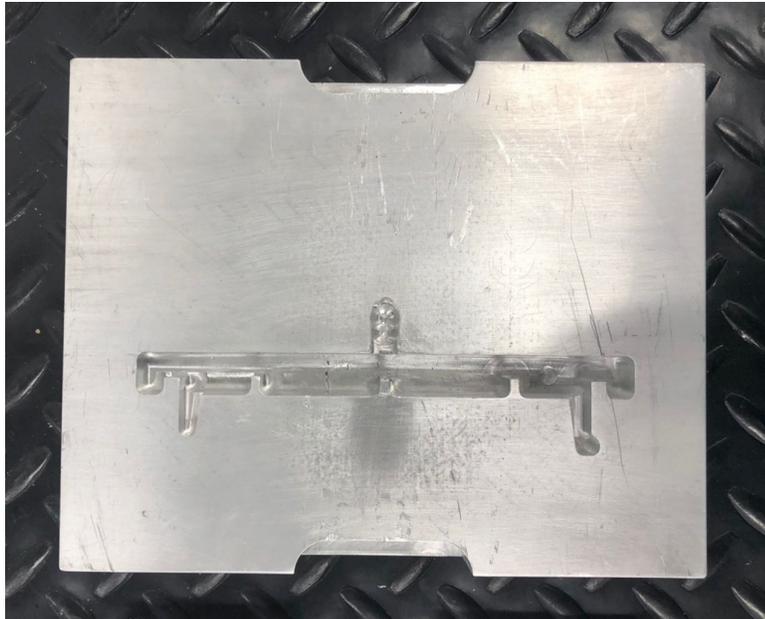
Los resultados 92 a 99 muestran imagenes de la etapa de maquinado para los moldes de colada en frío. Las figuras 92 y 93 muestran los dos moldes que se utilizaron para la inyectora de plástico.

Figura 92: Molde para el marco



Fuente: imagen propia

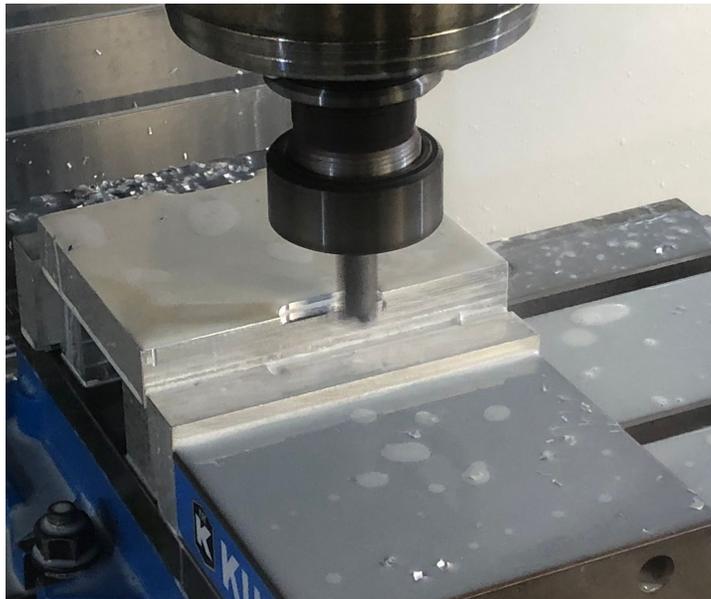
Figura 93: Molde para la columna



Fuente: imagen propia

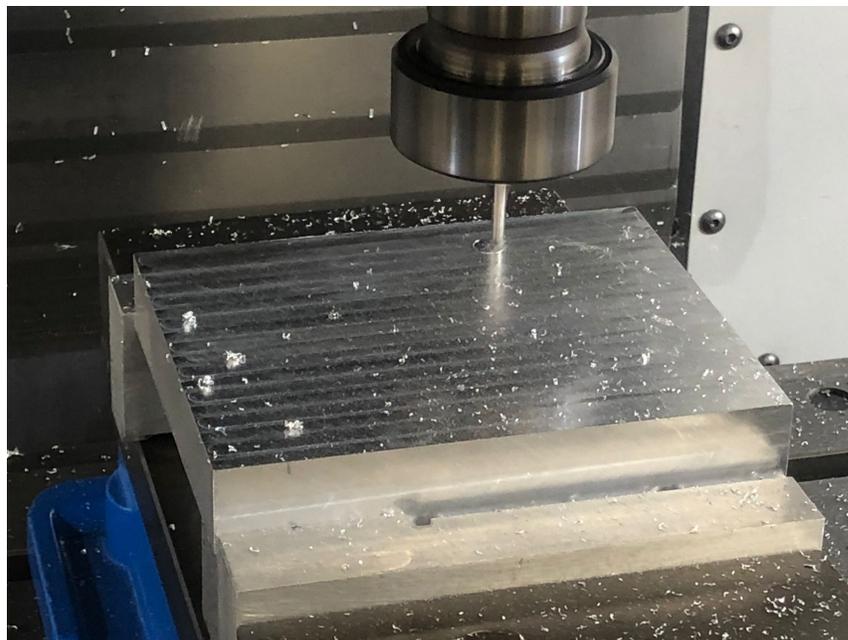
A continuación en las figuras 94 a 99 se muestran diversas fotografías que se tomaron durante el maquinado de ambos moldes en las instalaciones de la UVG.

Figura 94: Fresado de ranuras



Fuente: imagen propia

Figura 95: Inicio del maquinado



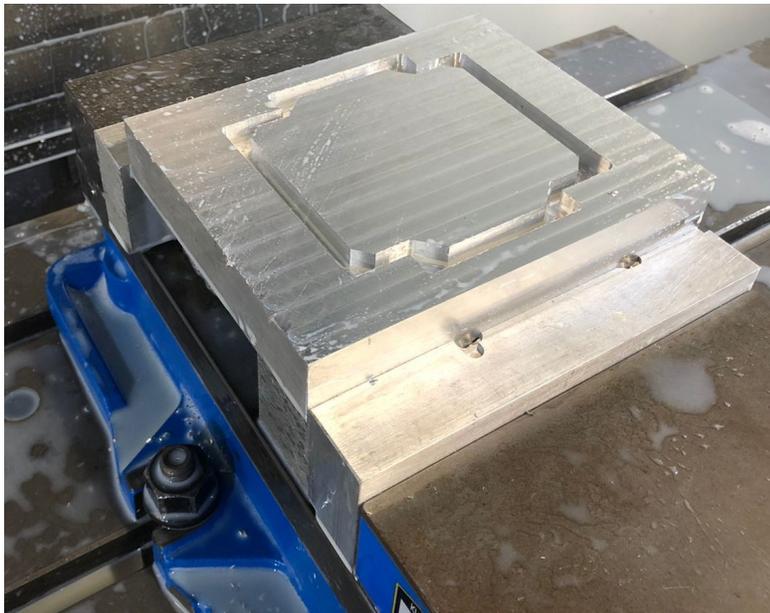
Fuente: imagen propia

Figura 96: Maquinado del molde



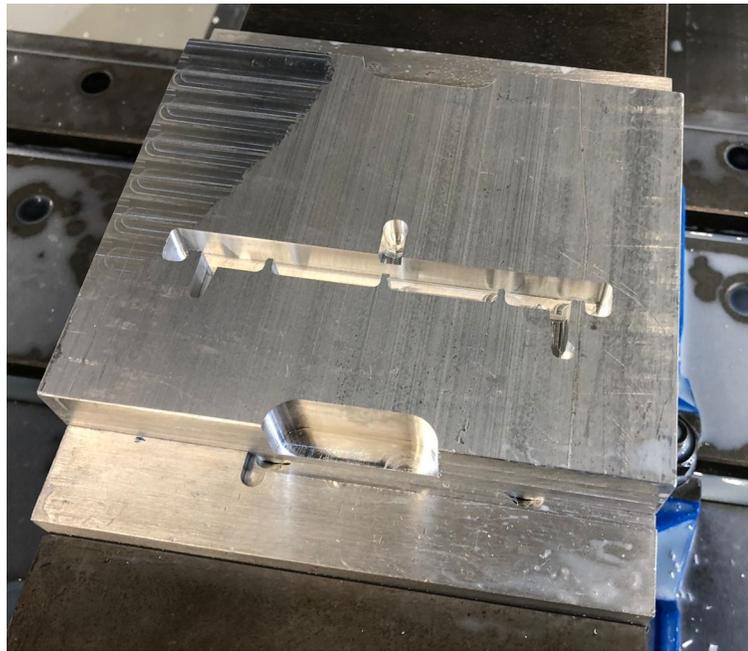
Fuente: imagen propia

Figura 97: Molde del marco sin sistema de alimentación



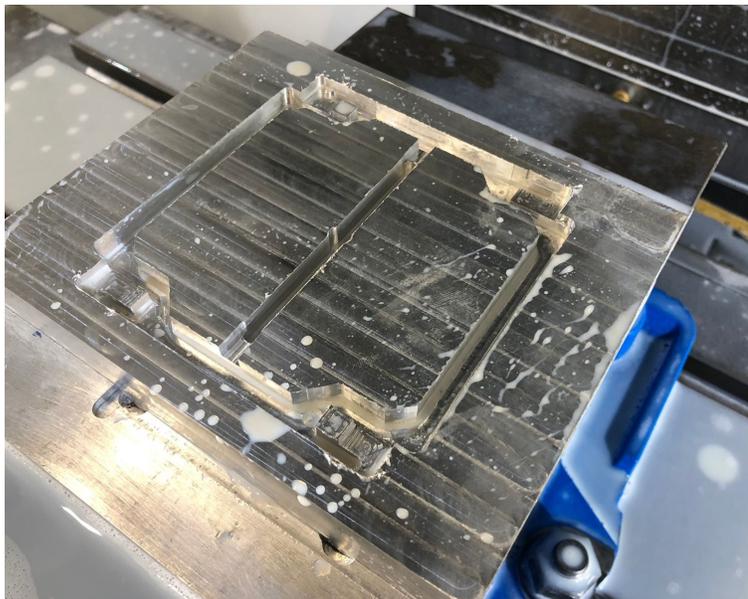
Fuente: imagen propia

Figura 98: Molde de la columna finalizado



Fuente: imagen propia

Figura 99: Molde del marco finalizado



Fuente: imagen propia

6.3. Inyección de plástico

En las figuras 100 a 106 se presentan los resultados obtenidos de la inyección de plástico en los moldes. Las primeras dos imágenes (figuras 100 y 101) muestran las piezas de la estructura por separado y en la Figura 103 se aprecia una fotografía de la estructura ya ensamblada con las cuatro columnas y los dos marcos.

Figura 100: Pieza inyectada de la columna



Fuente: imagen propia

Figura 101: Pieza inyectada del marco vista superior



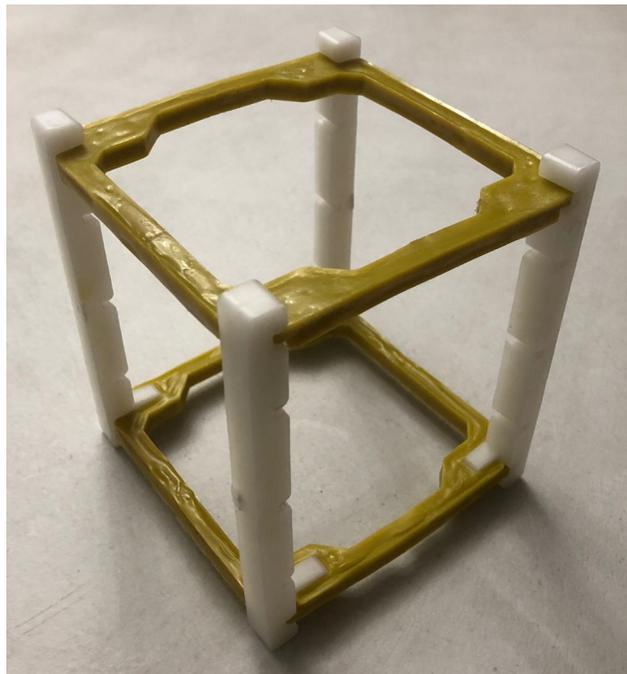
Fuente: imagen propia

Figura 102: Pieza inyectada del marco vista inferior



Fuente: imagen propia

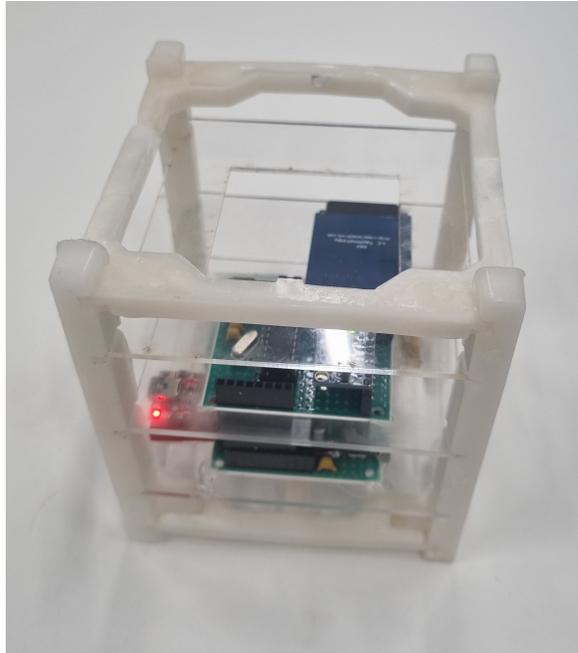
Figura 103: Estructura del juguete



Fuente: imagen propia

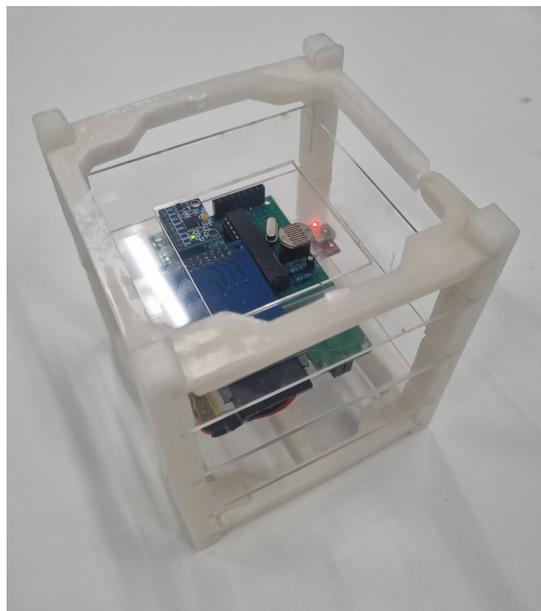
En las siguientes figuras se puede observar el juguete terminado junto con los módulos y componentes funcionando dentro de la estructura.

Figura 104: Estructura acoplada a módulos electrónicos vista A



Fuente: imagen propia

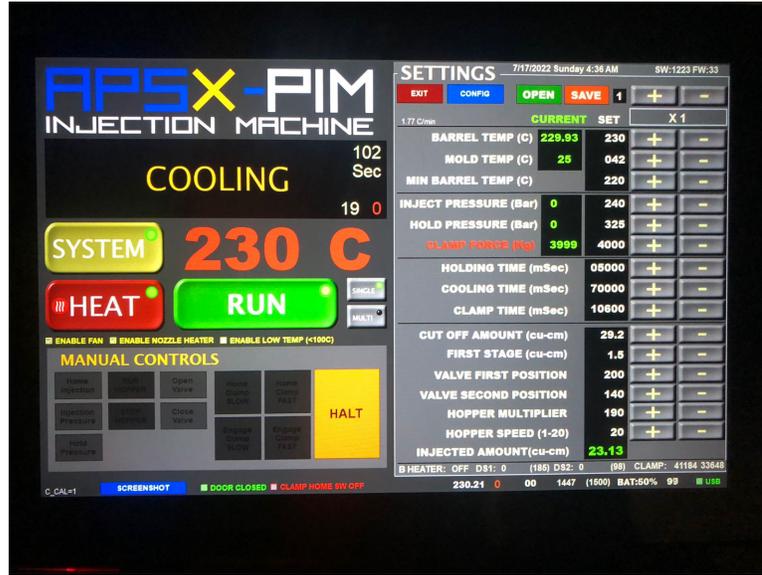
Figura 105: Estructura acoplada a módulos electrónicos vista B



Fuente: imagen propia

En las figuras a continuación, (figuras 106 y 107) se aprecian los parámetros finales que se utilizaron para la inyección del marco y la columna respectivamente. En el programa los parámetros reales de la máquina se muestran en color verde mientras que los parámetros ingresados por el usuario se muestran de color blanco.

Figura 106: Parámetros inyección marco



Fuente: imagen propia, APSX-PIM

Figura 107: Parámetros inyección columna



Fuente: imagen propia, APSX-PIM

6.4. Análisis de costos

En los siguientes cuadros se presentan análisis de costos que contemplan las diferentes etapas para la fabricación del juguete. Las tres etapas consisten en: (1) una fase de diseño y prototipado 3D, (2) una fase de maquinado y (3) una fase de inyección. La elaboración de las tres fases tuvo una duración de siete meses, empezando en abril y finalizando en el mes de octubre de 2022. Para la fase de diseño y prototipado, se elaboró en el transcurso de los meses de abril a julio de este mismo año. Durante este tiempo se realizó un análisis de costos que conlleva las pruebas y diseños realizados para la elaboración de dicha etapa del proyecto. Cabe mencionar se está presentando un análisis de costos únicamente para la estructura externa del juguete.

Cuadro 12: Análisis costos para la fase de diseño y prototipado 3D

Rubro	Descripción	Costo Unitario (Q)	Unidades Utilizadas	Costo Total (Q)
Material	Filamento PLA	0.50 (por gramo)	10 gramos	5.00
Material	Resina VeroWhite	8.12 (por gramo)	160 gramos	1300.00
Mano Obra	Diseño de piezas, simulaciones inyección y maquinado	14.00 (por hora)	50 Horas	700.00
Costo Operación Máquina	Costo operación para impresora 3D Ultimaker 3	2.74 (por hora de operación)	10 Horas	27.40
Costo Operación Máquina	Costo operación máquina impresora Stratasys	19.22 (por hora de operación)	4 Horas	76.88
Energía Eléctrica	Costo energía eléctrica impresora Ultimaker 3	1.47 (por kWh)	3.5 kWh	5.15
Energía Eléctrica	Costo energía eléctrica impresora Stratasys	1.47 (por kWh)	3.08 kWh	4.53
Gran Total				2118.96

Fuente: elaboración propia

En el cuadro a continuación (Cuadro 13), se presentan los costos relacionados a la etapa de maquinado del proyecto, la cual se realizó durante los meses de julio a octubre de 2022. En este análisis se muestran todos los costos relacionados con la elaboración de los moldes.

Cuadro 13: Análisis de costos para la fase de maquinado

Rubro	Descripción	Costo Unitario (Q)	Unidades Utilizadas	Costo Total (Q)
Material	Plancha de Aluminio 6061 de 6X4.8X1 pulgadas	145.84 (por plancha)	3 unidades	437.52
Mano Obra	Operaciones de preparación de material, montaje y mecanizado	38.00 (por hora)	5 Horas	190.00
Supervisión	Control de modelaje, montaje y parámetros de mecanizado	95.00 (por hora)	5 Horas	475.00
Costo Operación Máquina	Costo operación para máquina CNC	46.24 (por hora de operación)	2 Horas	92.48
Energía Eléctrica	Costo energía eléctrica máquina CNC	1.47 (por kWh)	44.8 kWh	65.86
Gran Total				1260.86

Fuente: elaboración propia

La fase de inyección se realizó durante los meses de agosto a octubre de 2022. Durante la inyección se utilizaron dos materiales distintos siendo estos: polipropileno (PP) y Polietileno de alta densidad (HDPE).

Cuadro 14: Análisis de costos para la fase de inyección

Rubro	Descripción	Costo Unitario (Q)	Unidades Utilizadas	Costo Total (Q)
Material	Gránulos de HDPE	196.16 (por lb)	3 lbs	588.48
Material	Gránulos de PP	160.85 (por lb)	1 lb	160.85
Mano Obra	Montaje de moldes y supervisión de uso por parte de un técnico	38.00 (por hora)	8 Horas	304.00
Costo Operación Máquina	Costo operación para máquina inyectora APSX-PIM	9.63 (por hora de operación)	8 Horas	77.04
Energía Eléctrica	Costo Energía Eléctrica máquina inyectora APSX-PIM	1.47 (por kWh)	10 kWh	14.70
			Gran Total	1145.07

Fuente: elaboración propia

Como el análisis de costos está enfocado a todo el proyecto, se tuvo un costo total de Q4524.89. En cambio, si se quisiera en un futuro realizar dicha estructura en una producción en serie, el costo de fabricación sería únicamente de la etapa de inyección. En el Cuadro 15 se puede apreciar el costo de dicho juguete si se realizaría únicamente con HDPE, mientras que en el Cuadro 16 se aprecia el costo del mismo juguete utilizando PP como material de inyección.

Cuadro 15: Estimación de costos para un CubeSat de HDPE

Rubro	Descripción	Costo Unitario (Q)	Unidades Utilizadas	Costo Total (Q)
Material	Gránulos de HDPE para producir 4 columnas y 2 marcos	0.43 (por gramo)	80 gramos	34.40
Mano Obra	Montaje de moldes y supervisión de uso por parte de un técnico	38.00 (por hora)	0.5 Horas	19.00
Costo Operación Máquina	Costo operación para máquina inyectora APSX-PIM	9.63 (por hora de operación)	0.5 Horas	4.82
Energía Eléctrica	Costo Energía Eléctrica máquina inyectora APSX-PIM	1.47 (por kWh)	0.63 kWh	0.92
			Gran Total	59.14

Fuente: elaboración propia

Cuadro 16: Estimación de costos para un CubeSat de PP

Rubro	Descripción	Costo Unitario (Q)	Unidades Utilizadas	Costo Total (Q)
Material	Gránulos de PP para producir 4 columnas y 2 marcos	0.35 (por gramo)	80 gramos	28.00
Mano Obra	Montaje de moldes y supervisión de uso por parte de un técnico	38.00 (por hora)	0.5 Horas	19.00
Costo Operación Máquina	Costo operación para máquina inyectora APSX-PIM	9.63 (por hora de operación)	0.5 Horas	4.82
Energía Eléctrica	Costo Energía Eléctrica máquina inyectora APSX-PIM	1.47 (por kWh)	0.63 kWh	0.92
			Gran Total	52.74

Fuente: elaboración propia

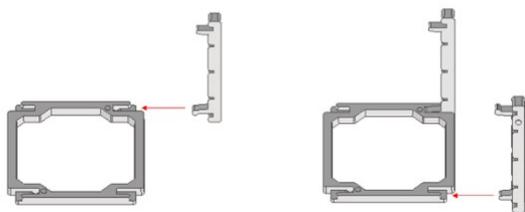
6.5. Manual de ensamblaje

El manual de ensamblaje se encuentra en la sección de anexos. Dicho manual muestra el ensamblaje de la estructura del juguete como también incluye todos los elementos y módulos los cuales no fueron parte de este trabajo. Se destaca que sólo los pasos ocho al doce corresponden a la elaboración de este trabajo.

Figura 108: Visualización manual de ensamblaje

Ensamble

7

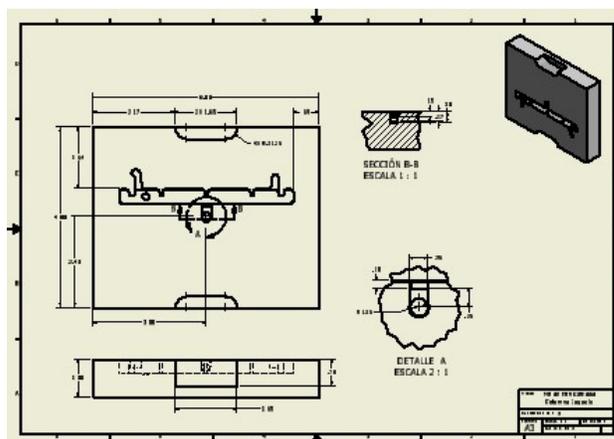


Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

6.6. Planos mecánicos

Los planos mecánicos realizados están ubicados en la sección de anexos. Estos representan las dimensiones de los moldes finales y algunas características específicas que se tuvieron que tomar en cuenta para el maquinado de los moldes. A continuación, en la Figura **109** se puede apreciar una imagen de cómo se presentan dichos planos.

Figura 109: Visualización de plano mecánico



Fuente: imagen propia, *Software Autodesk Inventor*

Análisis de resultados o discusión

A continuación, se detallarán aspectos relevantes acerca de los resultados obtenidos de las seis secciones de resultados. Esta sección se inicia con los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de inyección, para luego pasar a la etapa de maquinado e inyección, continuando con los planos mecánicos y el manual de ensamblaje y terminando con el análisis de costos.

7.1. Simulación de inyección

En las figuras 90 y 91 se muestra la probabilidad de que el plástico rellene una región en la cavidad a partir de los resultados de presión y temperatura. Mientras mayor sea el porcentaje en el área verde, la pieza se rellenará con facilidad y su calidad será aceptable como es la pieza del marco (Figura 90) la cual presenta una calidad alta del 100%. Esta por tener dos canales de alimentación permite rellenarse de manera rápida. En cambio, la columna (Figura 91), posee una calidad media con un 97%. Esto significa que la pieza puede ser difícil de moldear o es posible que su calidad no será aceptable de acuerdo a la simulación. Esto se puede deber a que la temperatura del molde es muy baja por lo que el material se empieza a solidificar antes de llegar a todas las regiones del molde o debido a una baja presión de inyección. En este caso, se simuló con la presión máxima que ejerce la máquina, por lo que no se puede exigir una mayor presión, aun así dicha pieza no corría riesgo de no poder ser inyectada en su totalidad. En párrafos posteriores se contrastará y se detallará los resultados obtenidos entre los resultados de dichas simulaciones contra los resultados del proceso de inyección real.

7.2. Maquinado CNC

Para el maquinado de los moldes se empezó con el molde de la columna debido a que requería un menor tiempo de maquinado de 28 minutos a comparación del molde del marco que requería tres veces más de tiempo siendo este de 1 hora con 21 minutos. En el Cuadro [9](#) se muestra las rutas de trabajo de las diferentes herramientas para generar la cavidad. Se empezó con una herramienta de 3/16 pulgadas para desbastar la mayor cantidad de material posible para que, cuando trabajase una herramienta de menor tamaño no sufriera una mayor carga de trabajo. Se continuó con el maquinado con una fresa de 1/8 de pulgada. Como la fresa de 3/16 no podía cortar las zonas más pequeñas de la pieza, se utilizó la de 1/8 para realizar la tarea de desbaste en las zonas más reducidas. Inicialmente se tenía pensado en utilizar una fresa de bola de 5/64 pulgadas para realizar el contorno de la pieza la cual llevaba un ángulo de desmoldeo de 1.5°, sin embargo, se terminó utilizando una fresa de bola de 5/32 pulgadas debido a que el porta herramienta llegaba a hacer contacto con la cara superior del molde cuando esta fresa se encontraba trabajando en una profundidad mayor a los 5 mm por lo que se descartó esta opción. La razón principal de utilizar una fresa de bola era para afinar los bordes con dicho ángulo de desmoldeo. Cabe mencionar que se desglosó todo el maquinado en varias operaciones, en este caso nueve, para tener un mejor control en las rutas de las herramientas y en los parámetros de corte de dichas herramientas. En el maquinado del marco (Cuadro [10](#)) se siguió el mismo planteamiento en cuanto al uso de herramientas. Se empezó con una fresa de mayor tamaño hasta llegar a las de menor tamaño para evitar sobrecargas en las herramientas de menor tamaño. Para esta cavidad se terminó utilizando la fresa de bola de 5/64 para el desbaste de los ganchos (operaciones ocho y nueve del Cuadro [10](#)) debido a que en estas zonas se encontraban unos redondeos los cuales sólo se podían conseguir con una herramienta de bola; dichos redondeos se pueden apreciar en la Figura [81](#). En este molde se utilizó una fresa plana en vez de una de bola para los bordes con ángulo de desmoldeo después de observar que en el otro molde la grada que se generaba entre cada descenso de la herramienta era mínima e insignificante. Por dicha razón se utilizó la fresa plana de 1/8 para estas operaciones. En este maquinado también se desglosó, pero en catorce operaciones de maquinado diferentes. Al hacer esto se pudo notar que el tiempo se redujo alrededor de 10 minutos debido a que se modificaron las rutas de las herramientas cuando estas no estaban cortando.

7.3. Inyección de plástico

En las primeras pruebas de inyección realizadas para ambos moldes, se obtuvo una baja cantidad de material inyectado, por lo que las cavidades no se llenaban por completo (Figura [87](#)). Debido a esto se modificaron varias veces los parámetros de temperatura, presión y la cantidad de material a inyectar (*cut off amount*) como se puede apreciar en las figuras [106](#) y [107](#). Para el caso del marco, el material de inyección o *cut off amount* está cerca de la capacidad máxima de inyección de la máquina por lo que el acabado superficial de la pieza no es lo bastante bueno a comparación de la columna, la cual sí posee un buen acabado. Del proceso se pudo observar que, con los mismos parámetros seleccionados, la cantidad de material inyectada (*injected amount*) es bastante variable por lo que las piezas pueden tener diferentes acabados o incluso pueden no ser inyectadas en su totalidad; para la realización de

los marcos, el rango de cantidad de material inyectada o *injected amount* variaban entre 22 a 25 centímetros cúbicos de inyección para obtener una pieza completa. Una de las posibles razones por las que no se inyectaron a su totalidad puede deberse a la cantidad de plástico fundido dentro del barril de inyección, donde un tornillo sin fin se encarga de recolectar el plástico del depósito y este no recolecta la misma cantidad en cada inyección. También se pudo comprobar que no es muy confiable la simulación de inyección comparado a los resultados reales de las piezas ya que, en la simulación, los resultados entregados mostraban que la pieza del marco tendría una buena calidad, lo cual no sucedió y en cuanto a la columna sucedió todo lo contrario donde la simulación mostraba que tendría una calidad media y esta después de la inyección tuvo una calidad bastante buena. Esta calidad se interpreta como una calidad estética superficial.

7.4. Planos mecánicos

El primer plano consta de un ensamblaje de la estructura del juguete. En este se puede encontrar un listado con los componentes del mismo, siendo estos: 4 columnas, 2 marcos y 3 planchas, las cuales representan las planchas de acrílico en donde están ubicados los módulos y componentes del juguete que no son parte de este trabajo. En el segundo plano realizado fue el de la columna utilizando un plano A4. Este representa todo el diseño de la pieza de la columna con sus medidas nominales al igual que las modificadas por las tolerancias en escala 1:1; para mayor referencia ver Cuadro 8 con las tolerancias utilizadas. Se puede apreciar también dos vistas en detalle en escala 2:1 para las grapas de la columna con sus dimensiones. El plano del marco utiliza un plano A3 y se aprecia una vista seccionada con escala 1:1 que detalla las ranuras donde se une con las grapas de la columna. Ambos planos fueron trabajados en milímetros. Para el plano con la cavidad de la columna se utilizó un plano A3. En esta se muestra una vista superior y frontal del molde donde se muestran únicamente las medidas básicas del stock y del sistema de alimentación en una vista 1:1. También se encuentra una vista en detalle 2:1 y una vista en sección 1:1 para detallar el sistema de alimentación de este molde. En el plano con la cavidad del marco también se utilizó un plano A3 debido a la variedad de detalles del sistema de alimentación. Este plano como el anterior posee una vista superior y frontal del plano con sus dimensiones principales en una vista 1:1. Aquí se presentan dos vistas en detalle en escala 2:1 para detallar el bebedero y una compuerta. También se agregó una vista de sección para el corredor en escala 1:1. Ambos planos se trabajaron en unidades inglesas debido a las medidas que poseía el molde original de la máquina.

7.5. Manual de ensamblaje

El manual de instrucciones expone el proceso de cómo armar cada componente y módulo al igual que cómo ensamblar la estructura y cómo unir las placas de acrílico a la estructura. Se puede apreciar que en la sección de ensamblaje se cumplen todos los requisitos planteados al inicio del proyecto (Cuadro 3), al igual que presenta un listado con todos los componentes de juguete por lo que se cumple el requisito MAN-01.

7.6. Análisis de costos

En la sección de análisis de costos, para la etapa de diseño, se utilizó un valor de Q14.00 como mano de obra. Este valor fue con base en el salario mínimo que estipula el Ministerio de Trabajo y Previsión Social siendo este de 12.16 quetzales la hora. Para los costos de operación de ambas máquinas, se realizó un análisis de depreciación para dichas máquinas en quetzales; se utilizó el costo inicial de ambas máquinas en dólares siendo estos de \$3495 y de \$24500 para la Ultimaker 3 y Stratasys respectivamente por lo que, se utilizó una tasa de conversión de dólares a quetzales de 7.85. Se estimó también un tiempo de vida de cinco años; cada año con 250 días y cada día con 8 horas. Estos tiempos representan la cantidad de días hábiles durante un año con un horario de ocho horas diarios. Para la resina VeroWhite se obtuvo el costo unitario por medio de la información proporcionada por la ingeniera Cecilia Marsicovetere, encargada del salón D-Hive de la UVG. En cambio para el filamento PLA se obtuvo el costo unitario con base en información recolectada de la empresa Ultimaker. En la etapa de maquinado, los costos unitarios tanto de la mano de obra como de la supervisión, el costo de operación del centro de maquinado Haas VF1 y el costo del material fueron proporcionados por el departamento de Ingeniería Mecánica de la UVG. Por último, para los costos unitarios de la fase de inyección como los son: el costo de la mano de obra y el costo de operación de la inyectora fueron proporcionados nuevamente por el departamento de Ingeniería Mecánica de la UVG. El costo unitario del material de inyección (HDPE) se obtuvo a partir de información del proveedor APSX. Dicho material tiene un costo de \$ 70.00 por cada 2 libras. El costo de la energía eléctrica utilizado para todas las máquinas se basó en el costo de la energía proveída por parte EEGSA con una tarifa de baja tensión simple con un precio a octubre de 2022 siendo este de 1.47 quetzales por kWh.

Debido a que el proyecto consta de un prototipo de juguete el precio de la realización del proyecto es bastante elevado (Q4524.89). Si se deseara realizar dicho proyecto en una producción en serie, el precio disminuiría drásticamente como se puede observar en los cuadros [15](#) y [16](#) teniendo un costo promedio de alrededor de los Q60.00. Este precio es representativo ya que sólo se estaría realizando un juguete. En cambio, si se realizaran más juguetes el precio se reduciría entre la cantidad de juguetes producidos. De entre todos los costos se observó que los materiales tanto la resina como el HDPE representan los costos más elevados. En el caso de la resina es debido a las pruebas de tolerancias realizadas; si se hubiera utilizado únicamente el PLA se reduciría el costo, pero la exactitud de las piezas no permitiría realizar una evaluación de ajustes. En cambio, para el material de inyección, se utilizó una gran cantidad debido a todas las pruebas realizadas. En total se realizaron aproximadamente unos 70 intentos de inyección entre ambas piezas, de las cuales un 20% fueron aceptables, mientras que el resto de piezas fueron desechadas.

1. Se elaboró una estructura de HDPE y PP, basada en la estructura del nanosatélite Quetzal-1, por medio de un moldeo por inyección. Se diseñaron en el software de Autodesk Inventor los moldes que contienen las cavidades para las piezas que conforman la estructura, las cuales cuentan con un volumen de inyección de 11.33 cc y 20.18 cc para la columna y el marco respectivamente; para luego ser manufacturados en una máquina CNC Haas VF-1.
2. Se generaron los sistemas de alimentación de los moldes en el apartado de MoldFlow en Autodesk Inventor (figuras 64 y 65), realizando iteraciones a su diseño, para ello se utilizó como referencia las medidas del molde original de la máquina presentes en el Cuadro 2 y los resultados obtenidos de las simulaciones de inyección.
3. Se realizó un proceso de maquinado de 1 hora y 49 minutos en la Haas VF-1 para generar las cavidades en los moldes como se puede apreciar en los cuadros 9 y 10. El tiempo de maquinado se extendió debido a la variedad de detalles que presentaban las piezas y por el tamaño de herramientas utilizadas.
4. Los parámetros utilizados para la inyección de las piezas en la máquina APSX-PIM se obtuvieron tras realizar 70 intentos a prueba y error, en donde se variaron únicamente los parámetros de temperatura (230 y 225°C), presión (240 y 130 Bar), tiempo de enfriamiento (70 y 60 segundos) y volumen de disparo (29.2 y 9.2 cc) para ambas piezas de la estructura; para los demás parámetros se utilizaron los que la máquina genera por defecto.
5. Después de realizar alrededor de 30 intentos de inyección de manera insatisfactoria para una de las piezas, se realizó una modificación al sistema de alimentación en el molde de dicha pieza. La modificación constaba de un alza que se colocó a lo largo del corredor de alimentación para reducir la cantidad de material que utilizaba el sistema de alimentación y a su vez aumentar la cantidad de material depositada en la pieza en sí. De no haber modificado el molde, no hubiera sido posible inyectar la pieza a su totalidad.

6. Por medio de una comparación entre los resultados de las simulaciones de inyección para determinar la calidad de inyección de las piezas, realizados en MoldFlow de Autodesk Inventor, contra los resultados de inyección reales obtenidos en una máquina de inyección APSX-PIM, se observó que lo que los resultados de las simulaciones difieren de los resultados reales. Por esta razón, no se considera adecuado utilizar la simulación como método para predecir la pieza calidad que tendrá la pieza como también para determinar los parámetros iniciales de inyección.
7. Se crearon planos mecánicos para las piezas de la estructura como también para los moldes. También se creó un manual de instrucciones para que los futuros usuarios puedan observar los pasos a seguir para poder realizar el ensamble de todo el juguete. En en la sección de anexos se pueden encontrar en la página 91 y 96 los planos y el manual de ensamblaje respectivamente.
8. Se determinó el costo de fabricación del prototipo, siendo este de Q4524.89. Dicho costo está conformado por las etapas de diseño, prototipado, maquinado e inyección de la estructura del juguete. Adicionalmente se logró estimar que una sola unidad de juguete tanto de HDPE como de PP, pueden llegar a costar alrededor de Q60 o menos, dependiendo de la cantidad de juguetes fabricados en un mismo ciclo de inyección.

Recomendaciones

1. Si se desea continuar con el proyecto, es recomendable crear un ciclo de inyección continuo para una producción en masa de los componentes del juguete, pero, se requeriría un molde con pines de extrusión.
2. Crear piezas más complejas requerirá de sistemas de alimentación más complejos al igual que la utilización de moldes de dos caras en vez un molde de una sola cara.
3. Considerar las limitaciones de la máquina inyectora en cuanto a dimensiones de moldes y parámetros de inyección como lo pueden ser el tamaño de la cavidad del molde y la cantidad de material de inyección respectivamente.
4. Es recomendable crear un sistema de alimentación lo más pequeño posibles para evitar desperdicio de material, para reducir tiempos, para no perder calidad superficial al momento de separar la pieza del sistema de alimentación y para que la separación de ambos componentes no presente complicaciones.
5. Se recomienda no sólo depender de una simulación para generar resultados, sino también consultar con algún experto en el tema para tener una segunda opinión al respecto.
6. Basado en la comparación de resultados de simulación y resultados de inyección reales, se sugiere explorar Softwares más centrados en las simulaciones de inyección.

- Anadolu Agency. (2018). Una cuarta parte de los graduados universitarios en Alemania son ingenieros. <https://www.aa.com.tr/es/mundo/una-cuarta-parte-de-los-graduados-universitarios-en-alemania-son-ingenieros/1237836>
- APSX. (2022). APSX-PIM PLASTIC INJECTION MACHINE. <https://www.apsx.com/desktop-injection-molding-machine>
- British Plastics Federation. (2021a). Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and Other Specialist Styrenics. https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/ABS_and_Other_Specialist_Styrenics.aspx
- British Plastics Federation. (2021b). Polypropylene (PP). <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/PP.aspx>
- Canadian Space Agency. (2018). What is a CubeSat. <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/cubesat/what-is-a-cubesat.asp>
- CONCOGUÁ, B. (2018). Así se construye el CubeSat, 2. <https://www.gt.emb-japan.go.jp/PrensaLibreQuetzal1/20180407.pdf>
- de León Kestler, L. K. E. A. (2021). *Fabricación de molde de colada fría para realizar llave higiénica anti-contacto mediante un proceso de inyección*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Doris, R. (2021). Top 8 Reasons Why Visuals Improve Safety. <https://www.jincom.com/blog/top-8-reasons-why-visuals-improve-safety#:~:text=Visuals%20are%20faster%20%8D&text=An%20image%20or%20graphic%20can,effectively%2C%20visual%20content%20is%20king>.
- ELENCO ELECTRONICS. (2021). Snap Circuits. [Makeblock%20Education](https://www.makelab.com/education)
- European Space Agency. (2021). Onboard Computers. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Onboard_Computers_and_Data_Handling/Onboard_Computers
- Formlabs. (2021). Guía de procesos de fabricación para plásticos. <https://formlabs.com/latam/blog/guia-procesos-fabricacion-plasticos/>
- González, M. (2016). INFORME NACIONAL: GUATEMALA. <https://cinda.cl/wp-content/uploads/2019/01/educacion-superior-en-iberoamerica-informe-2016-informe-nacional-guatemala.pdf>

- Haas Automation. (2022). VF-1. <https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-1.html>
- Hill, D. (2020). CubeSat Launch Initiative. <https://www.nasa.gov/content/about-cubesat-launch-initiative>
- Ibáñez, A., & Martínez, A. (2010). Biodegradable Materials In The Toy Sector. <https://knowledge.ulprospector.com/1361/pe-bioplástico-materials-toys/#:~:text=In%20the%20toy%20sector%2C%20other,plastics%20in%20the%20toy%20sector.>
- Ibeh, C. (2011). *Thermoplastic Materials: Properties, Manufacturing Methods, and Applications*. Taylor & Francis Group. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=UMasBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=thermoplastic+definiciones&ots=7h4E4N7M-a&sig=VpmM2MS5cGHAdjDMBGncp9A231k&redir_esc=y#v=onepage&q=thermoplastic%20definiciones&f=false
- Illuminati, C. (2015). *The New Dad Dictionary: Everything He Really Needs to Know - from A to Z*. Adams Media. <https://books.google.es/books?id=AHfrDQAAQBAJ&pg=PA195&dq=educational+toys+definición&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjIpuImczvAhVLD2MBHe-0BPsQ6AEwAnoECAYQAg#v=onepage&q=educational%20toys%20definición&f=false>
- Kazmer, D. (2016). *Injection Mold Engineering* (2nd Edition). Hanser Publications,
- LANXESS. (2007). Part and Mold Design. https://techcenter.lanxess.com/scp/america/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- Mabrouk, E. (2017). What are SmallSats and CubeSats? <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>
- Makeblock Education. (2021). mBot Explorer Kit. <https://education.makeblock.com/mbot-explorer-kit/>
- Manualidades y Labores. (s.f.). Los juguetes y su clasificación. <https://www.manualidadesylabores.com/articulos/los-juguetes-y-su-clasificacion>
- Marsicovetere, C. (2021).
- National Science Board. (2018). Higher Education in Science and Engineering. <https://nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/report/sections/higher-education-in-science-and-engineering/undergraduate-education-enrollment-and-degrees-in-the-united-states>
- Paz, R. (2021).
- Paz, R., & Saavedra, C. (2020). Proyecto de Extensión: CubeSat de Juguete para Armar. Real Academia Española. (2022). juguete. <https://dle.rae.es/juguete>
- Saavedra, C. (2021).
- Serna, L. (2003). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones, 11. https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2301/3051
- Silió, E. (2019). La revolución 4.0 pelagra: los estudiantes de ingeniería caen un 30 % en 20 años. https://elpais.com/sociedad/2019/12/17/actualidad/1576612459_205974.html
- Sphero. (2021). littleBits. <https://sphero.com/pages/littlebits>
- Suárez, A. (1995). PROCESOS DE TRANSFORMACION DE PLASTICOS POR INYECCION: Aplicaciones en materiales de Ingeniería, 19. http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/1163/1285
- Ultimaker. (2021a). Ultimaker ABS. <https://ultimaker.com/materials/abs>
- Ultimaker. (2021b). Ultimaker PLA. <https://ultimaker.com/materials/pla>
- Ultimaker. (2021c). Ultimaker PP. <https://ultimaker.com/materials/pp>
- Universidad de Alicante. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=jxilUUn4_QAC&oi=fnd&

[pg=PA15&dq=polimeros+termoplasticos+propiedades&ots=eCMx3xkxzH&sig=DRPEbxsDnu9NbZ_7U_8UbOIWn84&redir_esc=y#v=onepage&q=polimeros%20termoplasticos%20propiedades&f=false](https://www.uvg.edu.gt/cubesat/)

Universidad del Valle de Guatemala. (2020a). CubeSat Quetzal 1. <https://www.uvg.edu.gt/cubesat/>

Universidad del Valle de Guatemala. (2020b). Quetzal-1. <https://www.uvg.edu.gt/cubesat/>

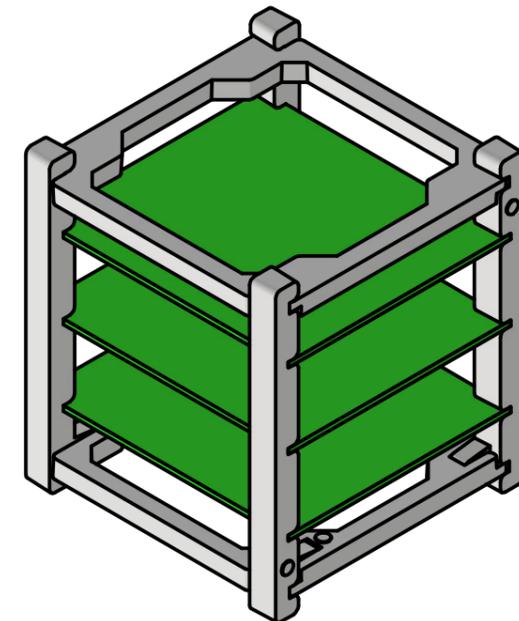
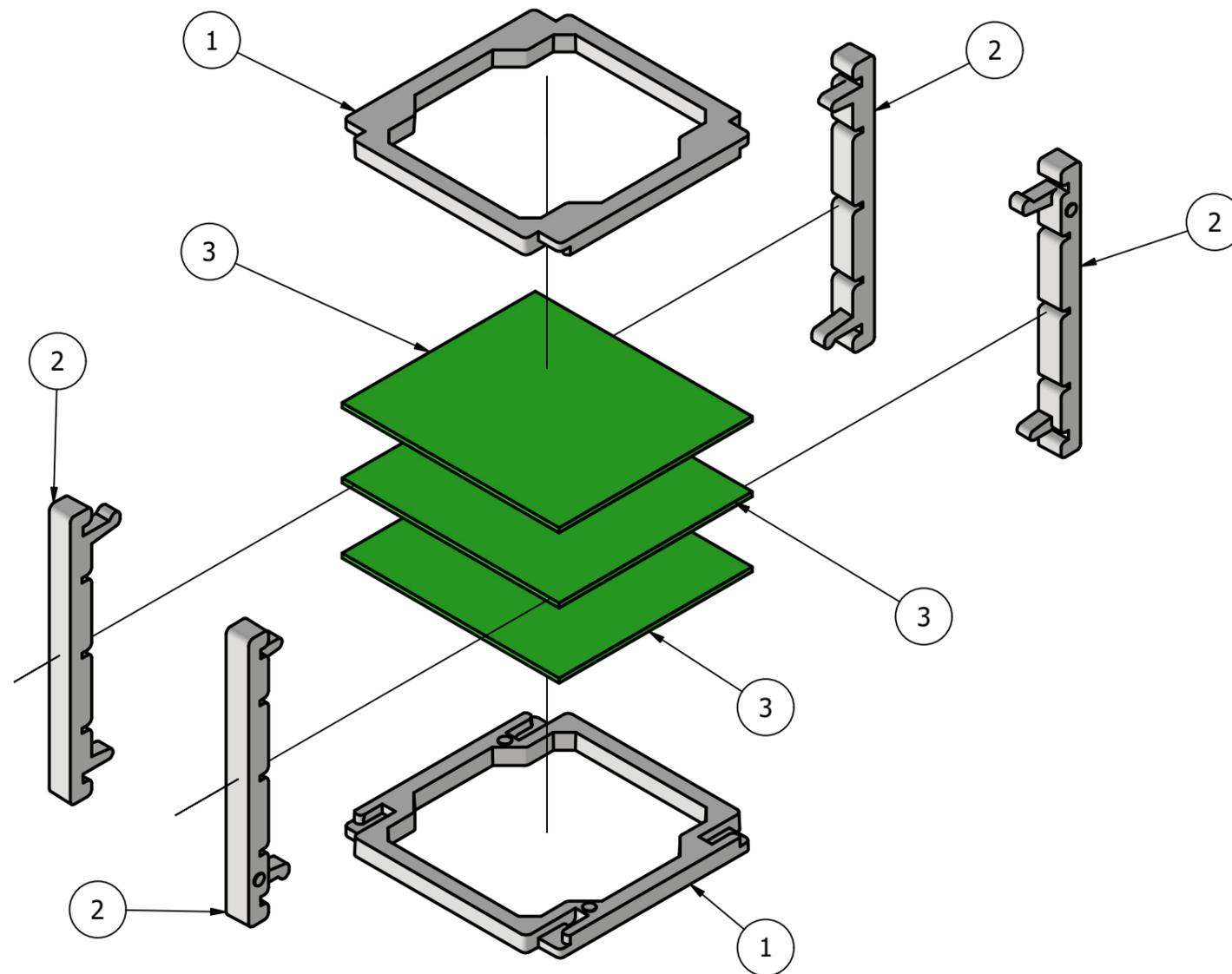
Universidad Nacional Autónoma de México. (2008). PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA DE MAQUINAS CNC. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf

Universidad San Carlos de Guatemala. (2020). INFORME_ESTADISTICO_ESTUDIANTIL_2019. https://registro.usac.edu.gt/estadisticas/data/INFORME_ESTADISTICO_ESTUDIANTIL_2019.pdf

U.S. CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION. (s.f.). The Dangers of Electric Toys. <https://www.cpsc.gov/s3fs-public/287.pdf>

CAPÍTULO 11

Anexos



Listado de Componentes

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	2	Marcos	PP o HDPE	Estructura principal del Jugete
2	4	Columnas	PP o HDPE	Estructura principal del Jugete
3	3	Placas	Acrílico	Placas de acrílico con modulos electrónicos

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
 LINEAL .X ± 0.1
 .XX ± 0.05
 .XXX ± 0.0025
 ANGULAR ± 0.5
 FRACCIONES ±
 RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR: Sebastián Alvarenga 2/10/2022
 FECHA: 2/10/2022
 DISEÑADO POR: Sebastián Alvarenga 2/10/2022
 FECHA: 2/10/2022
 REVISADO POR: Andres Viau
 FECHA:
 APROBADO POR: FECHA:

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
 Guatemala, Guatemala 01015
 PBX: (502) 2634-0336 / 40
 info@uvg.edu.gt

TÍTULO: Estructura Jugete Didáctico

MATERIAL: HDPE
 TRATAMIENTO: Ninguno
 MASA: N/D

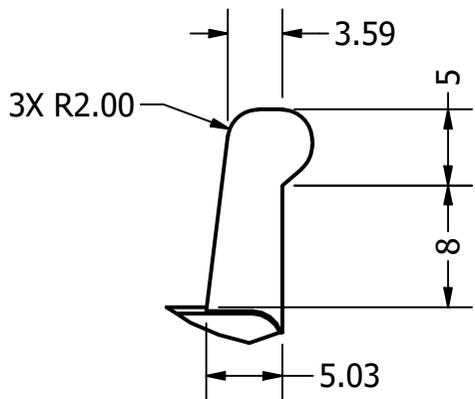


NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO: Jugete CubeSat

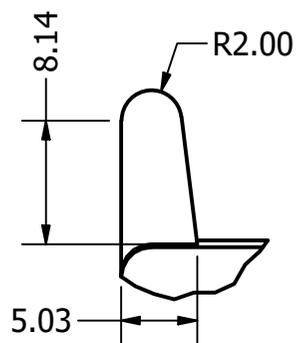
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

NÚMERO DE DIBUJO: 1

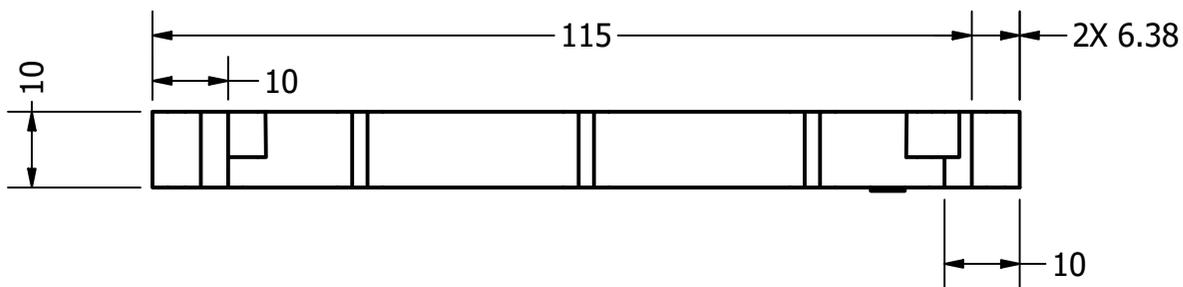
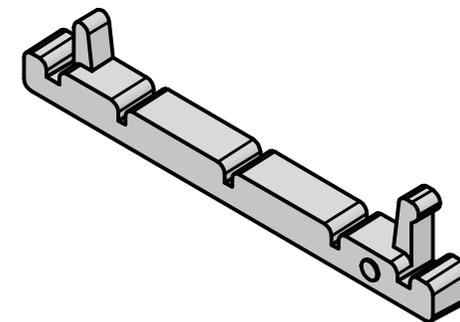
FORMATO: A3
 ESCALA: 1 / 2
 UNIDADES: mm
 PÁGINA 1 DE 5
 REV: -



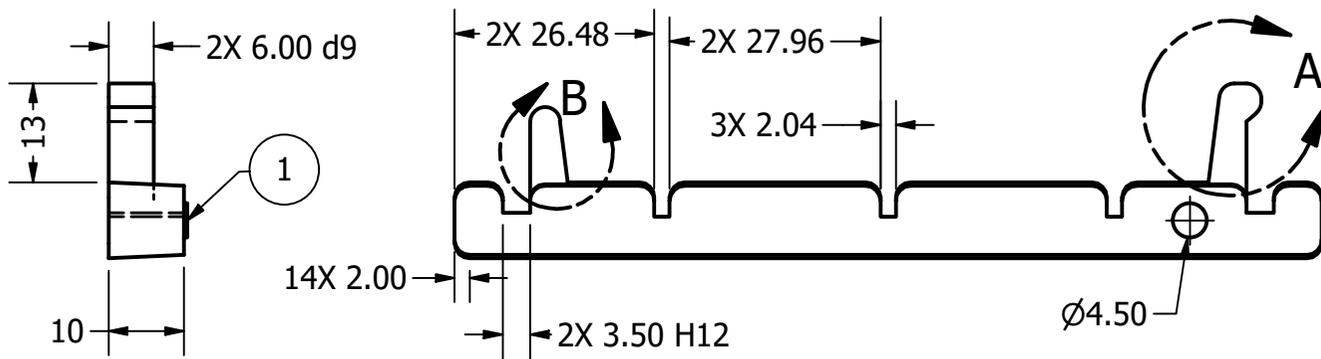
DETALLE A
ESCALA 2: 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

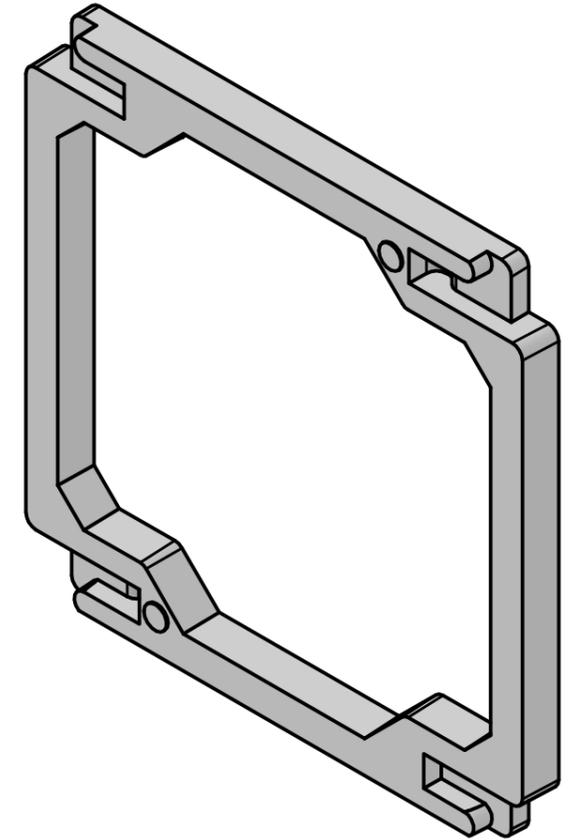
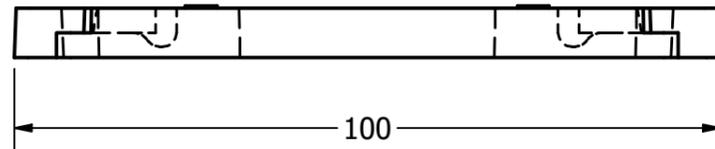
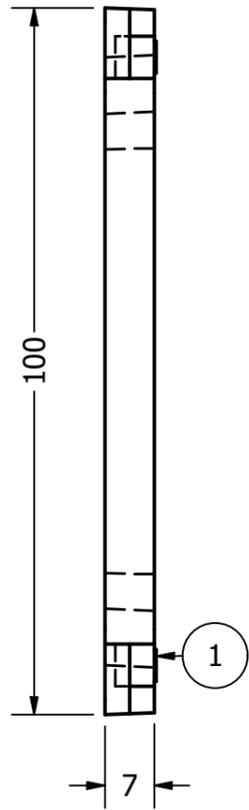
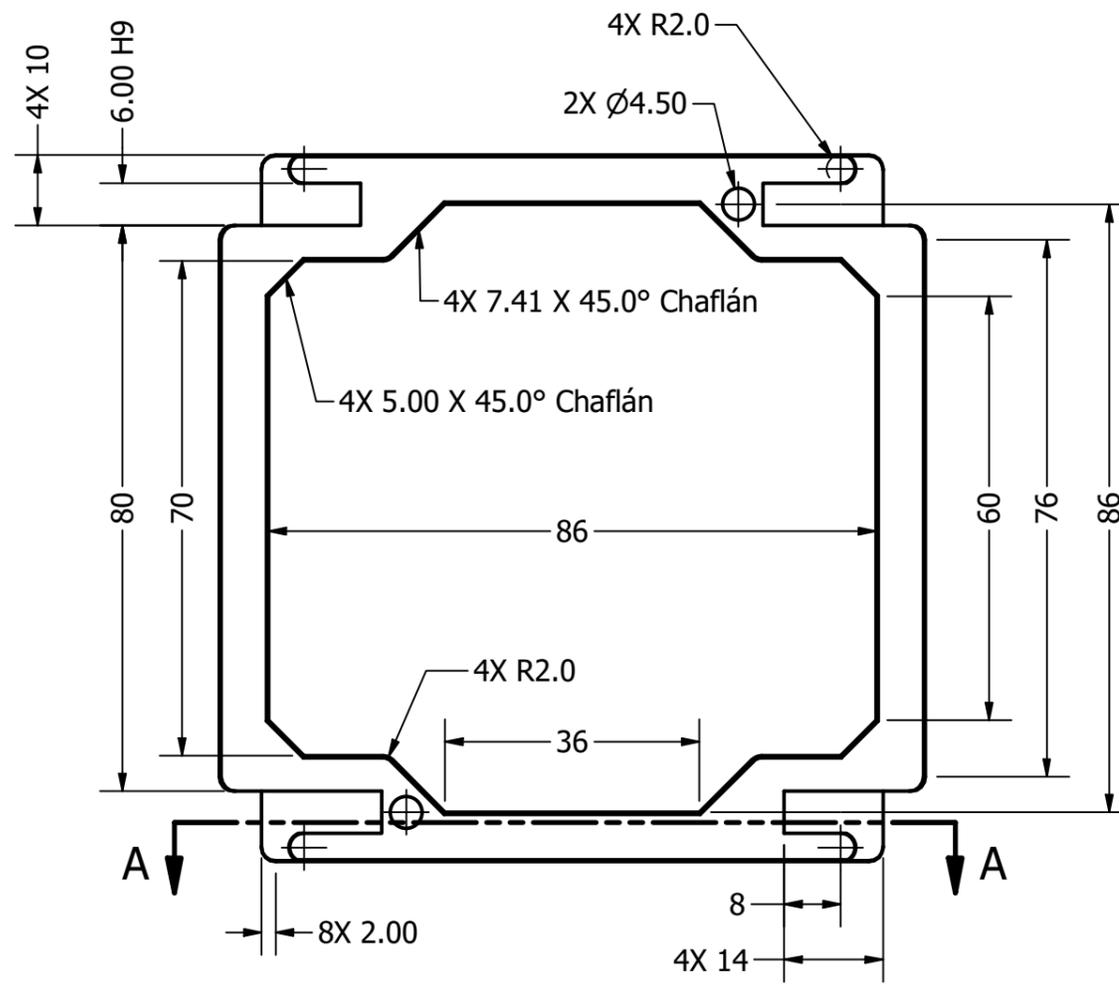
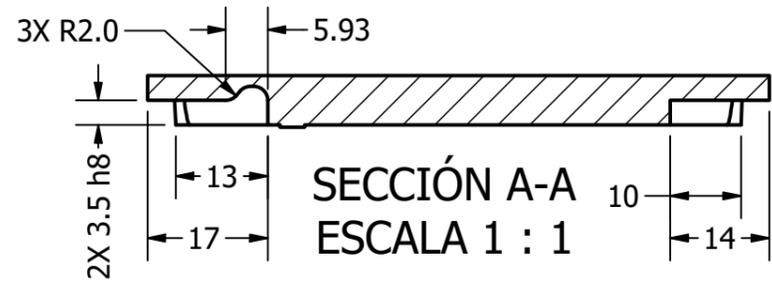
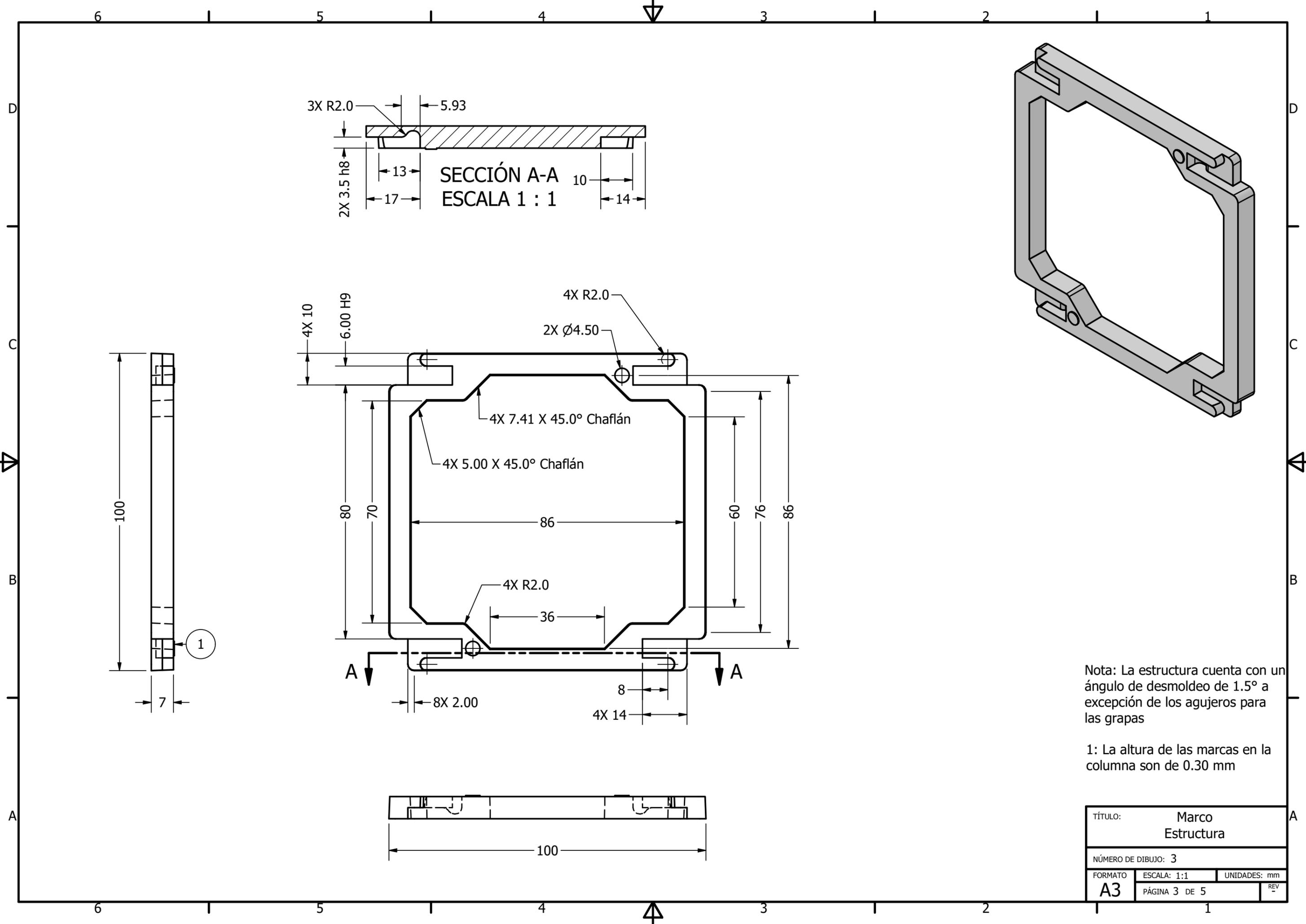


Nota: La estructura cuenta con un ángulo de desmoldeo de 1.5° a excepción de las ranuras y grapas.



1: La altura de las marcas en la columna son de 0.40 mm

TÍTULO:		Columna Estructura	
NÚMERO DE DIBUJO: 2			
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 2 DE 5		REV



Nota: La estructura cuenta con un ángulo de desmoldeo de 1.5° a excepción de los agujeros para las grapas

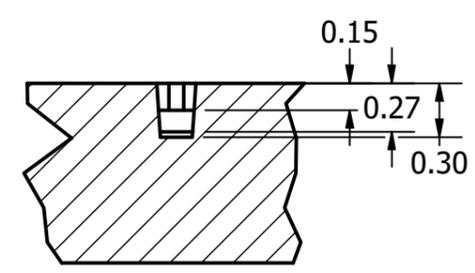
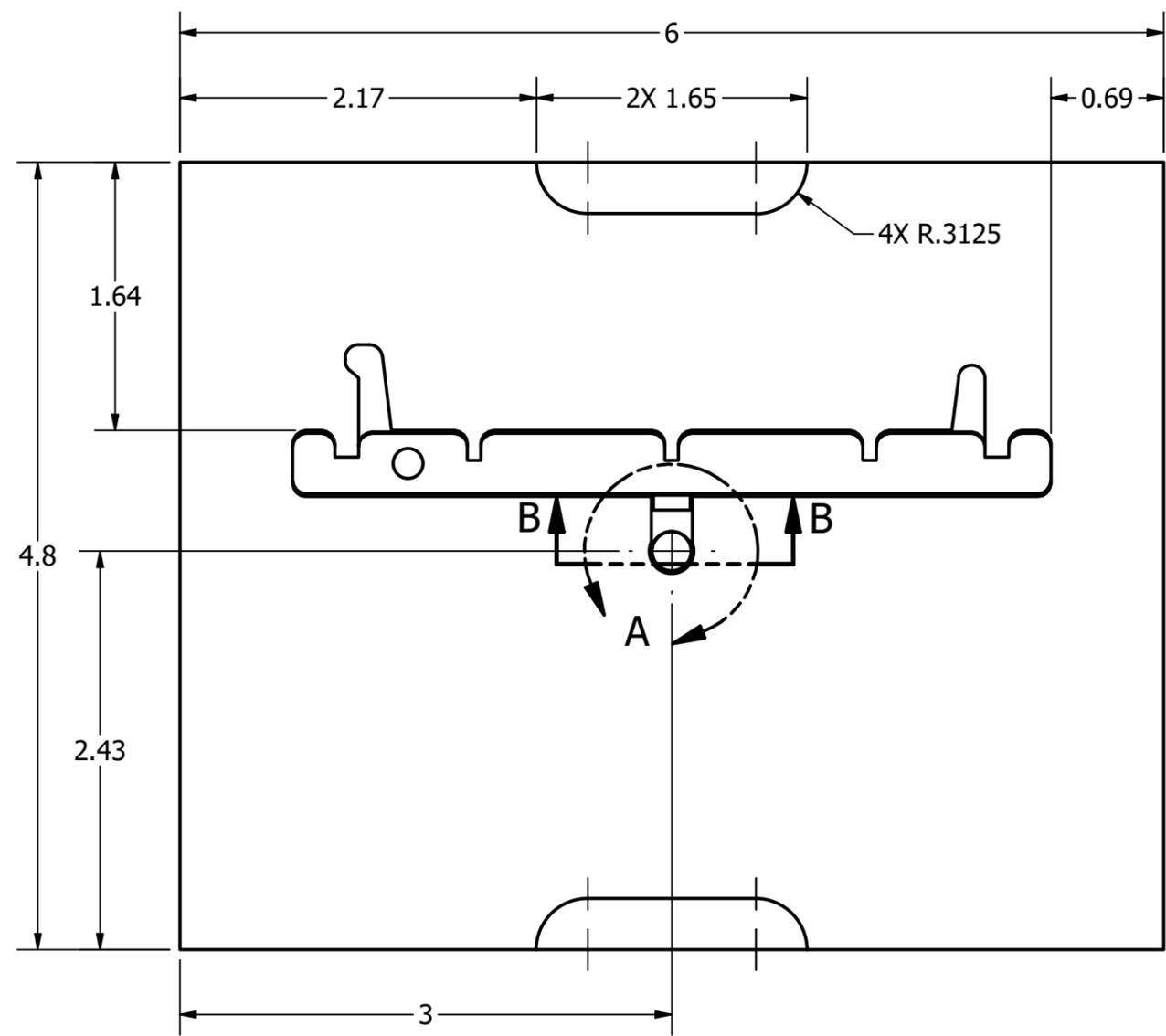
1: La altura de las marcas en la columna son de 0.30 mm

TÍTULO: Marco Estructura		
NÚMERO DE DIBUJO: 3		
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
A3	PÁGINA 3 DE 5	REV

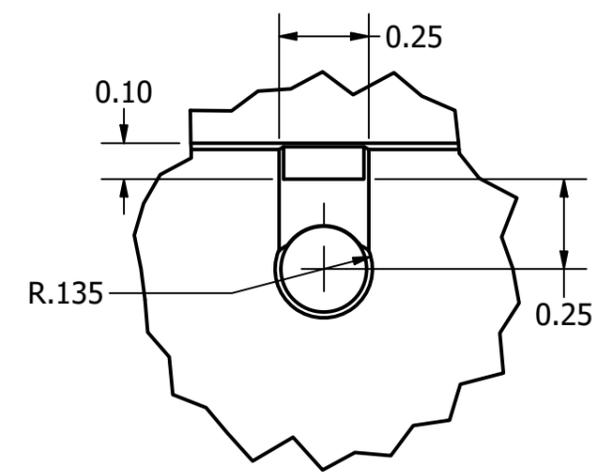
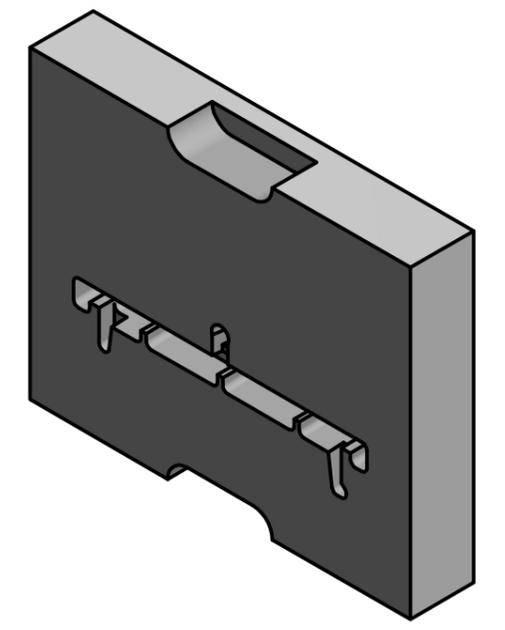
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

D

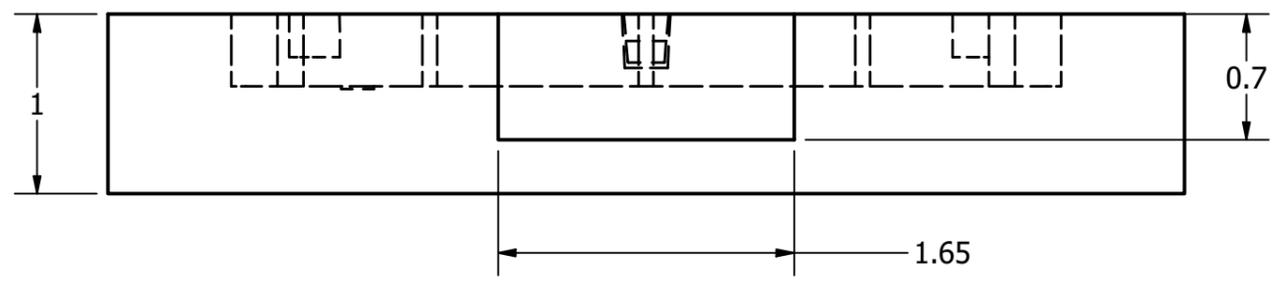
D



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



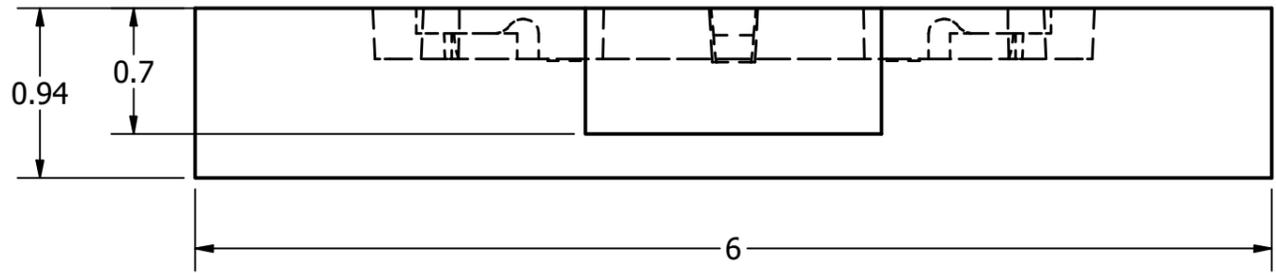
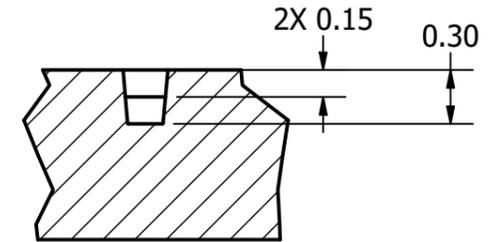
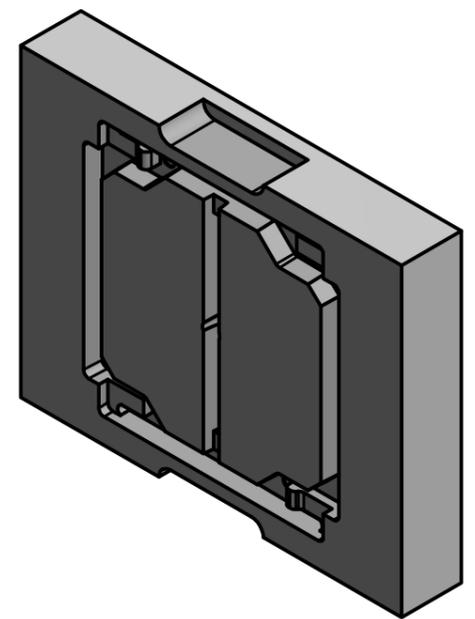
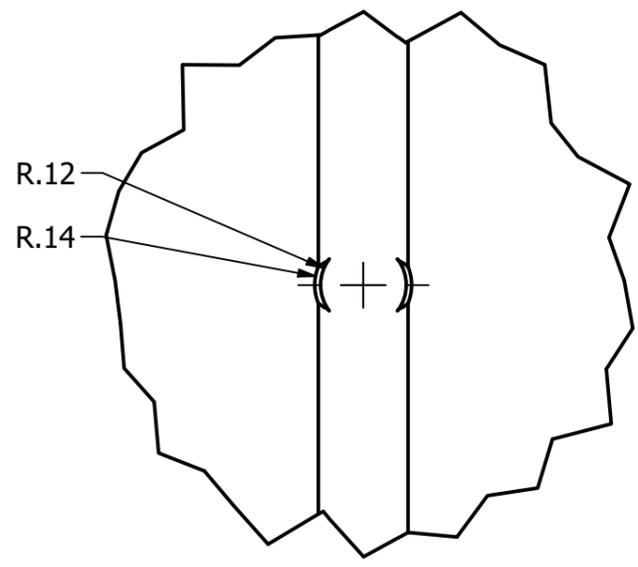
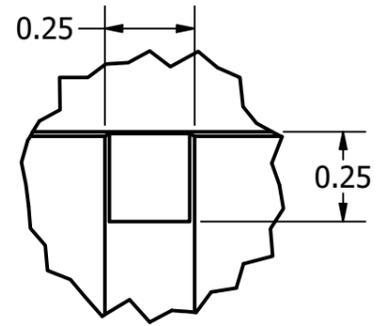
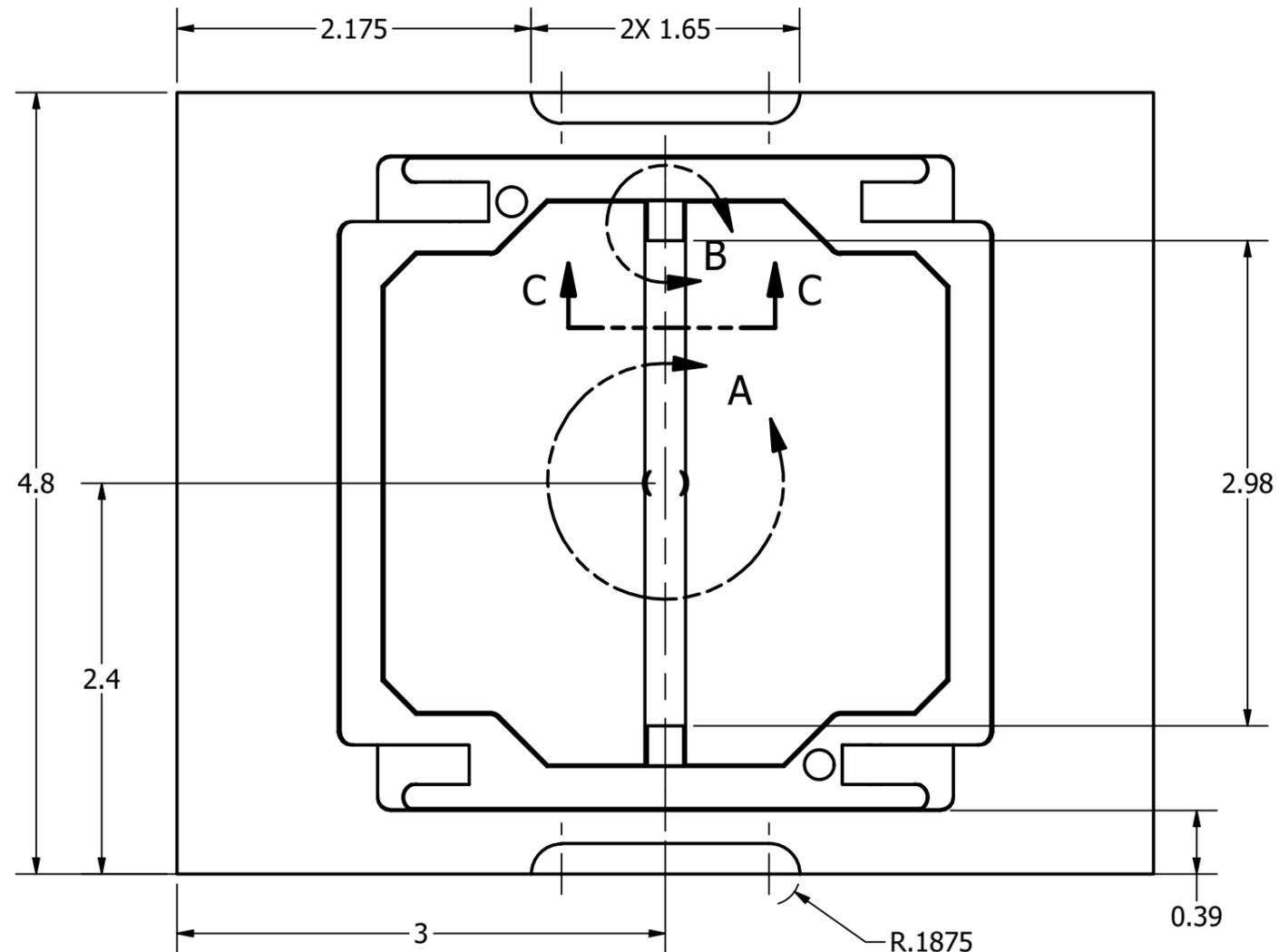
Nota 1: Ver plano de Columna para las medidas de la cavidad.
Nota 2: El sistema de alimentación cuenta con un ángulo de desmolde de 5°

TÍTULO: Molde con Cavidad Columna Jugete		
NÚMERO DE DIBUJO: 3		
FORMATO A3	ESCALA: 1:1	UNIDADES: in
PÁGINA 4 DE 5		REV

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

A

A



Nota 1: Ver plano del Marco para las medidas de la cavidad.
 Nota 2: El sistema de alimentación cuenta con un ángulo de desmolde de 5°.

TÍTULO: Molde con Cavidad Marco Juguete		
NÚMERO DE DIBUJO: 4		
FORMATO: A3	ESCALA: 1:1	UNIDADES: in
PÁGINA 5 DE 5		REV

Manual de usuario juguete CubeSat

¿Qué es un Cubesat?

La creación del CubeSat inició en 1999 entre Jordi Puig-Sauri y Bob Twiggs, dos profesores universitarios de California Polytechnic State University (Cal Poly) y Stanford University 's Space Systems Development Laboratory (SSDL). La intención del proyecto era hacer asequible el espacio para la comunidad de ciencia universitaria, gracias al proyecto las varias universidades grandes o pequeñas tienen programas aeroespaciales y ha llegado hasta colegios en los Estados Unidos. Agregado a instituciones de educación, gobiernos, y grupos comerciales han desarrollado Cubesats por todo el mundo, debido a que ellos han visto el potencial de los mini satélites en reducir costos y en materiales y en investigación y desarrollo.

Los CubeSat son nanosatélites programados para realizar una misión específica. Un satélite pequeño es generalmente considerado como un satélite que tenga una masa menor a 300 Kg, pero el CubeSat se debe conformar a criterios más específicos como su tamaño, forma y peso. Estos estándares son los que ayudan a disminuir su costo ya que facilita su manufactura en serie. Estos pueden tener varios tamaños a los cuales se les refiere como "units". Cada "unit" debe tener:

- Una dimensión de 10 centímetros cúbicos.
- Un peso menor a 1 kilogramo.
- El centro de masa no debe alejarse más de 2 cm del centro geométrico

QUETZAL-1

El QUETZAL-1 fue el primer satélite Guatemalteco lanzado al espacio, el cual tuvo la misión de diseñar, construir y operar un satélite tipo CubeSat para probar el prototipo de un sensor multiespectral, abriendo el campo de ciencias y tecnología espacial en Guatemala. El proyecto se realizó con la colaboración de estudiantes, docentes, ingenieros y egresados de programas de Ingeniería UVG, con el apoyo de colaboradores locales e internacionales (Universidad del Valle de Guatemala, 2020).

Componentes del juguete

Sensores

- Giroscopio MPU 6050



- Fotorresistencia



- Reloj RTC DS1302



- Módulo SD



Componentes en las placas

- 2 Resistencias de 10K
- 1 Capacitor de 10 uF
- 2 Capacitores de 22 pF
- 1 Capacitor de 104 uF
- 1 Cristal oscilador de 16 Mhz
- 1 Microcontrolador Atmega328P



Componentes del juguete

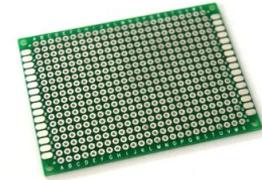
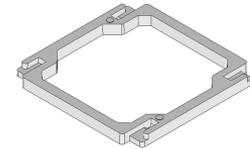
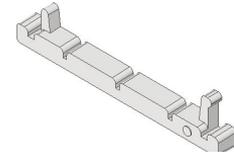
Componentes en las placas

- 1 Módulo convertidor FTDI
- 1 Batería Li-ION 1000 mAh
- 1 Módulo cargador de batería de litio + elevador de voltaje
- 2 Interruptores on/off



Componentes de estructura

- 4 Columnas
- 2 Marcos
- 3 Placas perforadas



Funciones de sensores

Giroscopio: Define la orientación del juguete mediante su ángulo en los tres ejes.

Fotorresistencia: Su funcionamiento depende directamente de la luz que recibe el sensor. Mientras más luz, menor es la resistencia. Esta simulará un sensor de sol.

Reloj RTC: Este define la hora y fecha en la que se tomaron las mediciones.

Módulo SD: Este es un banco local en el cual se almacenan las mediciones tomadas por el juguete.

Funciones de componentes

Cristal oscilador: Este es necesario para utilizar el microcontrolador Atmega328P, debido a que este se utiliza como referencia para el tiempo. El atmega requiere un cristal de 16Mhz, debido a que se tomará $1/16$ segundos en completar un periodo T.

Capacitor: Los capacitores tienen la capacidad de almacenar energía en un campo eléctrico. El mismo se utiliza en este caso para estabilizar el voltaje de la batería, de forma que el voltaje sea uniforme y no oscile.

Elevador de voltaje: Debido a que la batería empleada en el sistema es de 3.7V y los sensores requieren 5V, se necesita elevar el voltaje. El componente disminuye la corriente de la batería y por consiguiente aumenta el voltaje.

Microcontrolador: Este es un circuito integrado en el que se pueden grabar instrucciones, las cuales permiten crear programas que interactúan con los componentes en el circuito.

Resistencias: En el caso del juguete, esta se emplea en dos diferentes casos. Se utiliza para crear un divisor de voltaje para poder ponderar la resistencia ejercida por la fotorresistencia. Por otro lado se utiliza para el funcionamiento del microcontrolador.

Funciones de componentes

Módulo convertidor: Este se implementa en el juguete para poder tener comunicación con una computadora y leer/escribir datos o nuevo código

Batería de 3.7V: Este es el componente principal del módulo de potencia del juguete ya que esta tiene la función de almacenar y distribuir energía al juguete. En este caso se utiliza una batería Li-ion por su tamaño, geometría, tiempo de vida y capacidad de mantener el voltaje constante en diferentes porcentajes de carga.

Módulo de carga: Este tendrá la función de cargar la batería ya sea por medio de 5V con entrada micro-usb o por medio de paneles solares

Interruptor: Al diseñar y construir un nanosatélite, este debe tener dos kill switches por norma.

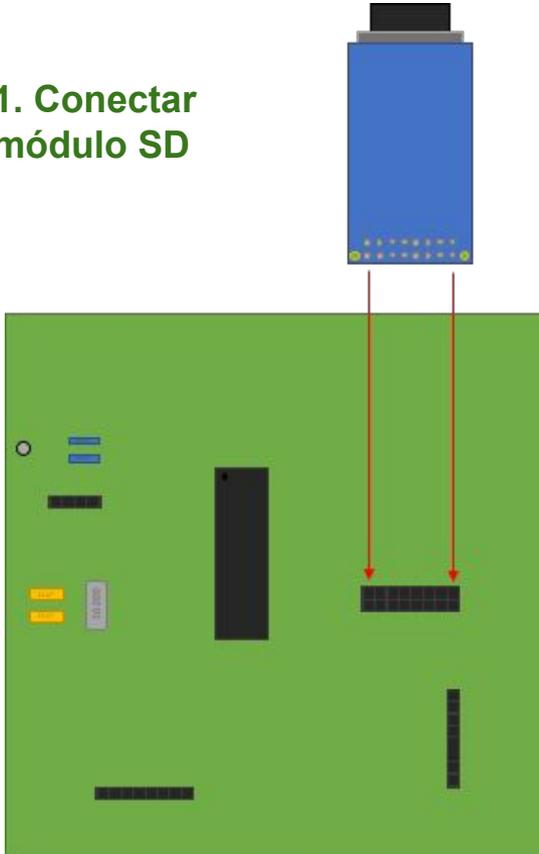
Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas y convertirlo en una salida. Puede decirle a un tablero qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el mismo. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino y el Software Arduino.

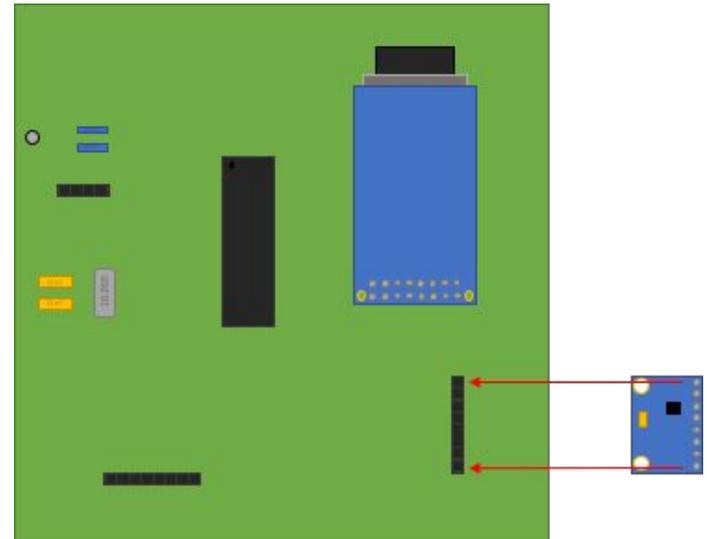
A lo largo de los años, Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos hasta complejos instrumentos científicos como el QUETZAL-1. Una comunidad mundial de creadores se ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto, sus contribuciones se han sumado a una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda tanto para principiantes como para expertos.

Ensamble del juguete

1. Conectar módulo SD

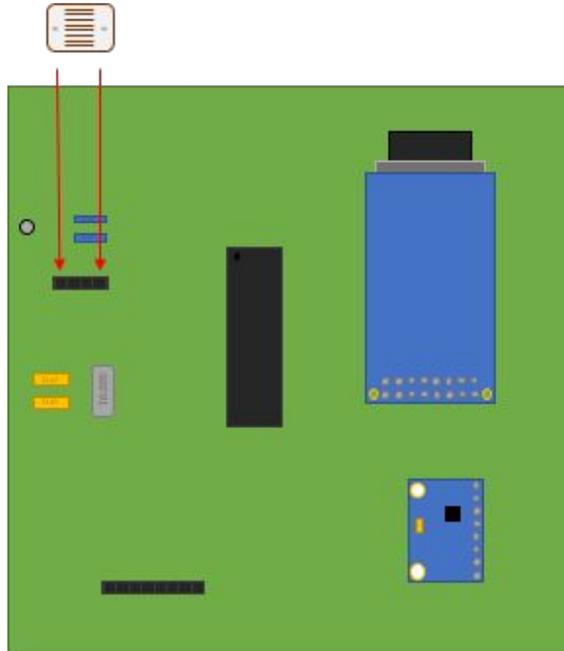


2. Conectar giroscopio

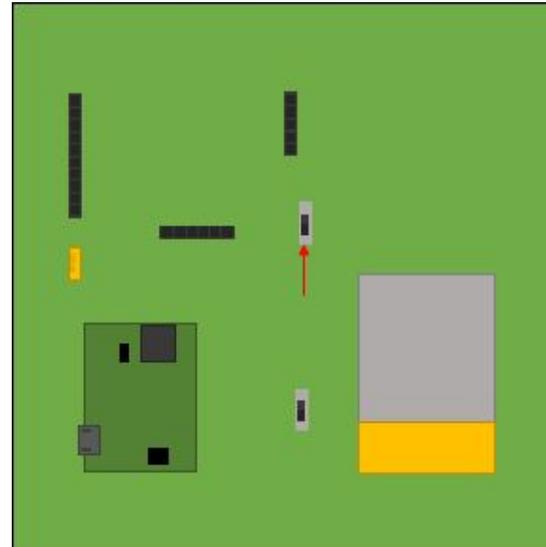


Ensamble del juguete

3. Conectar fotorresistencia

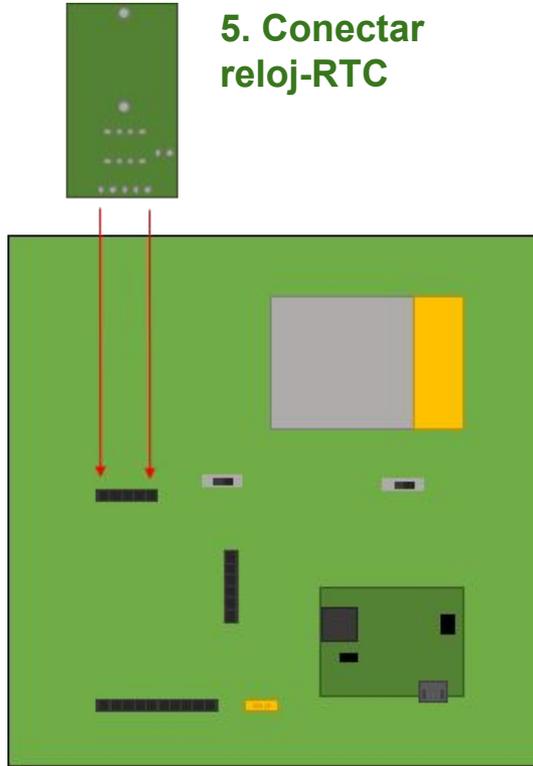


4. Conectar voltaje de batería

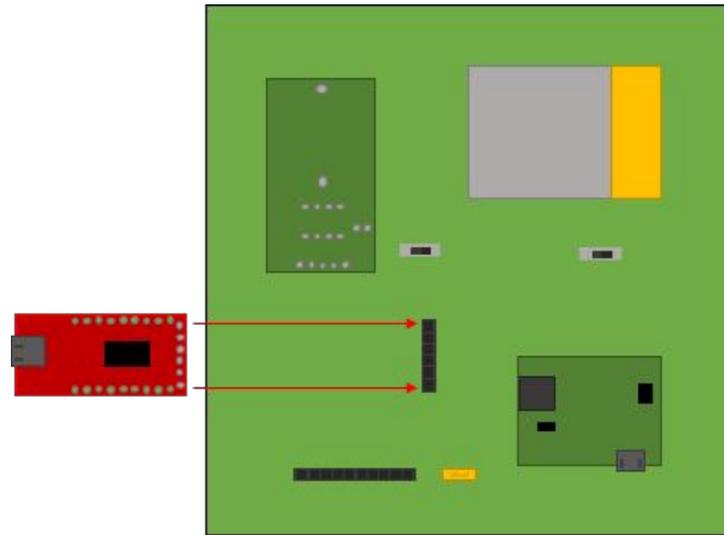


Ensamble del juguete

5. Conectar reloj-RTC

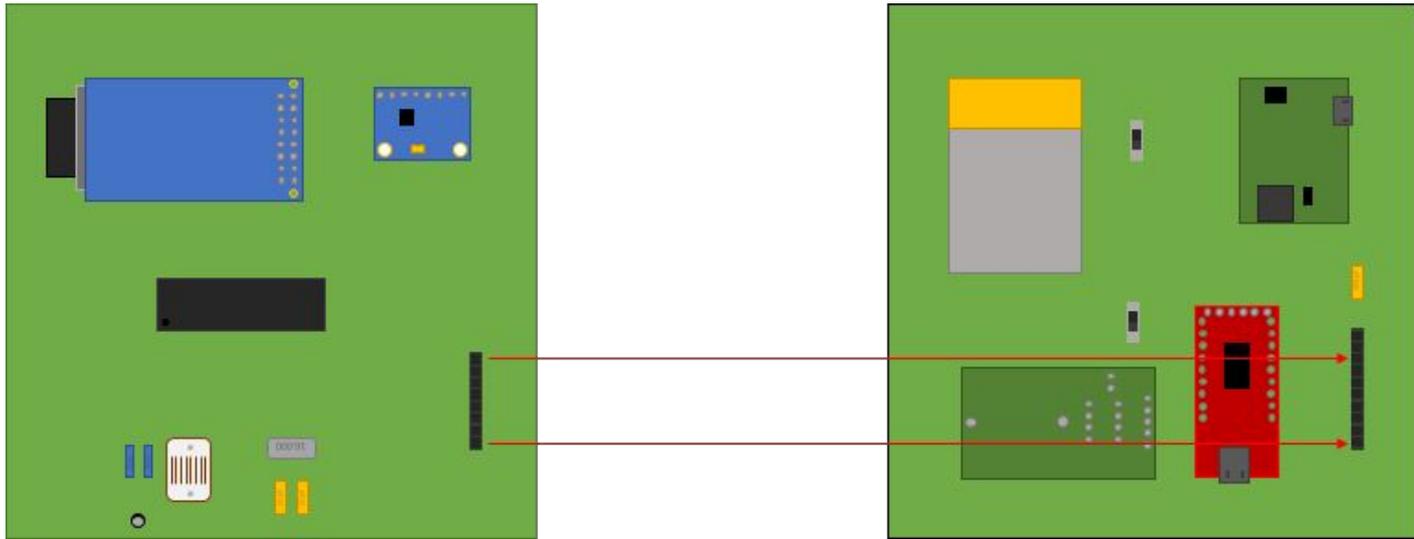


6. Conectar convertidor



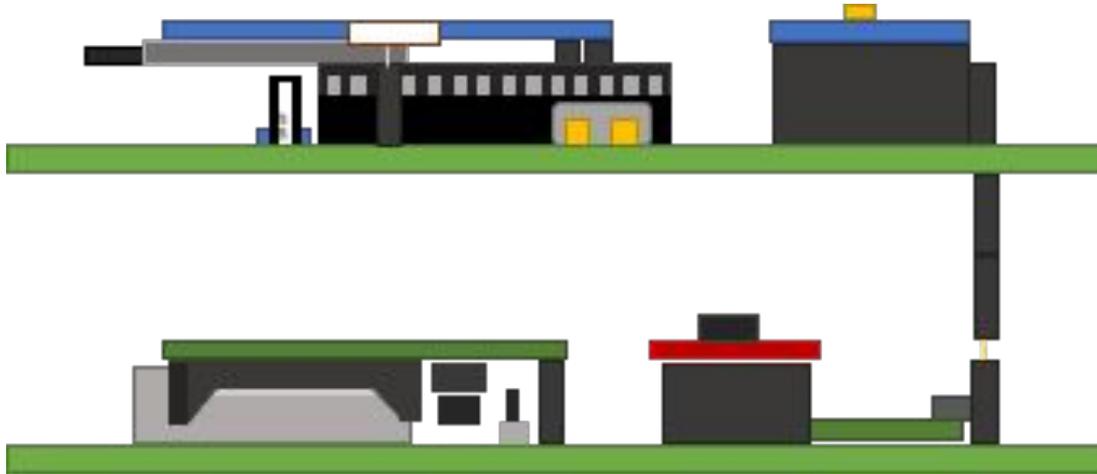
Ensamble del juguete

6. Conectar la placa de sensores a la placa de potencia.



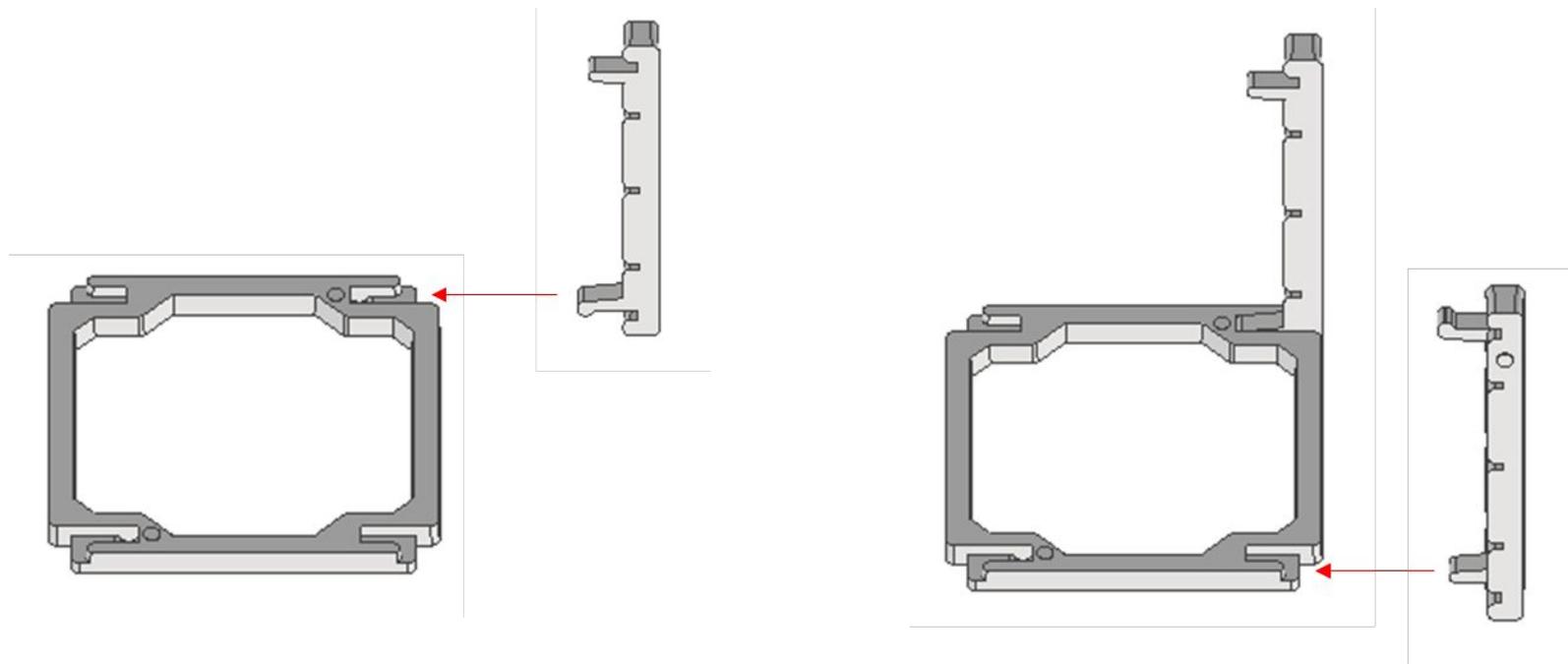
Ensamble del juguete

7 Unión de placas



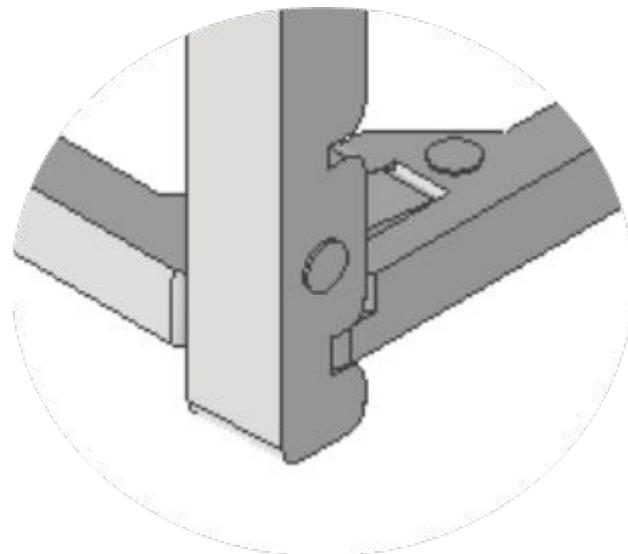
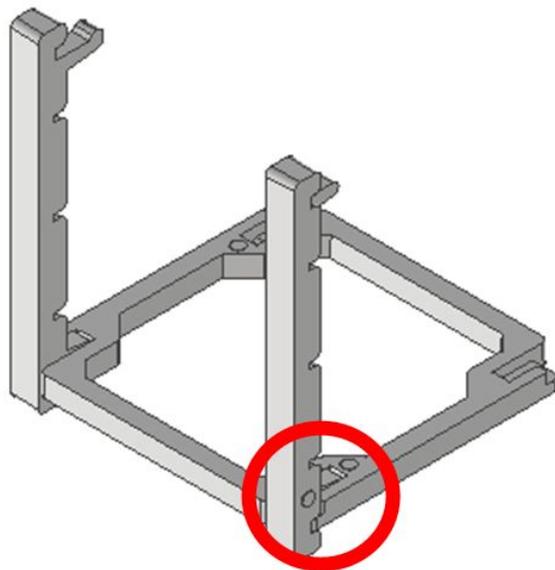
Ensamble del juguete

8



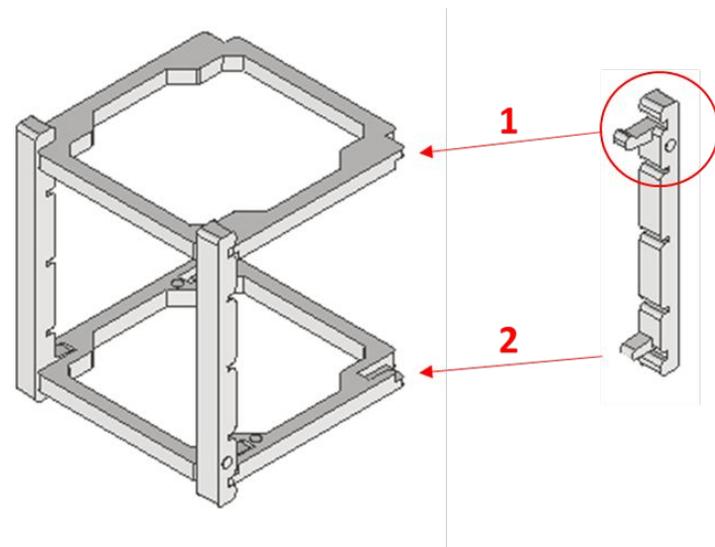
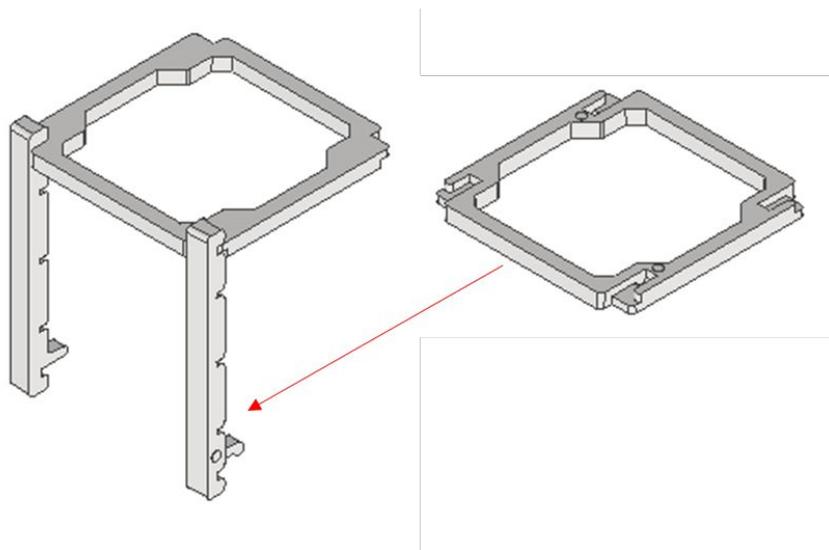
Ensamble del juguete

9



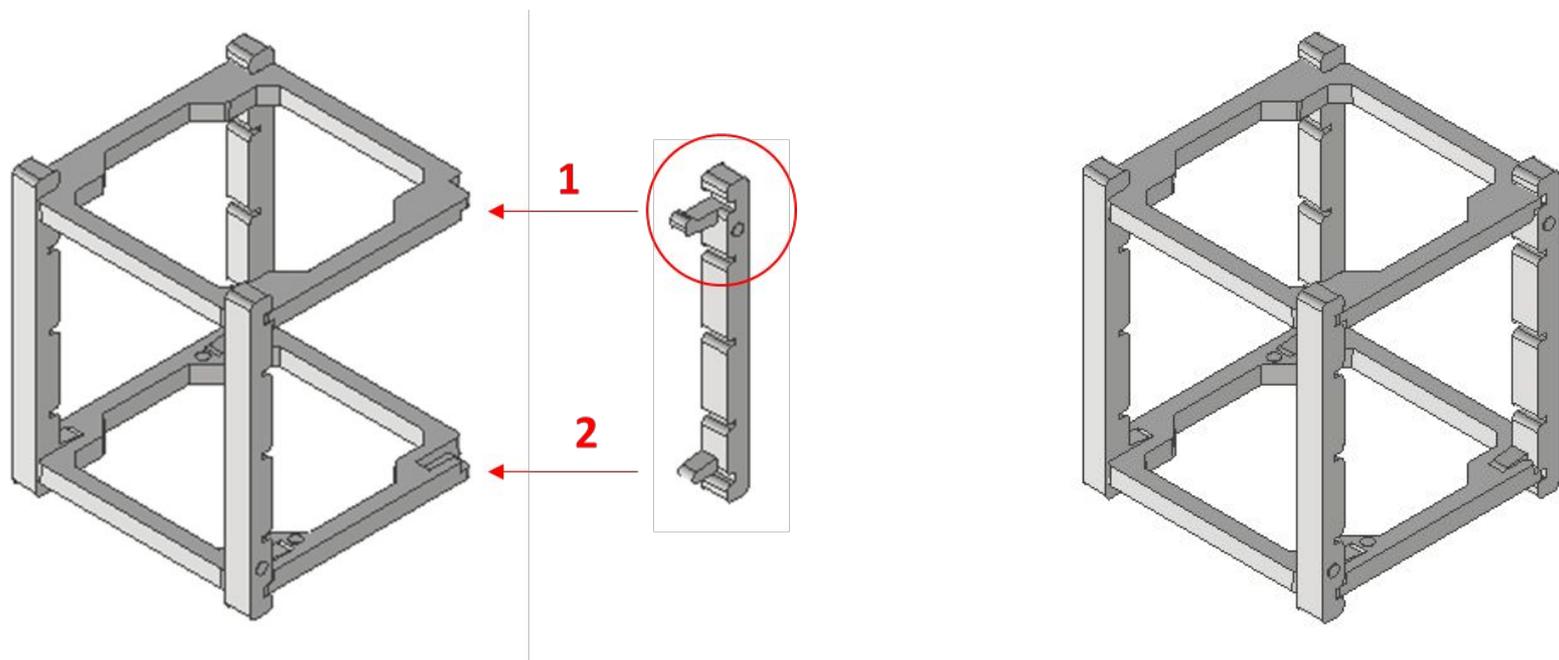
Ensamble del juguete

10



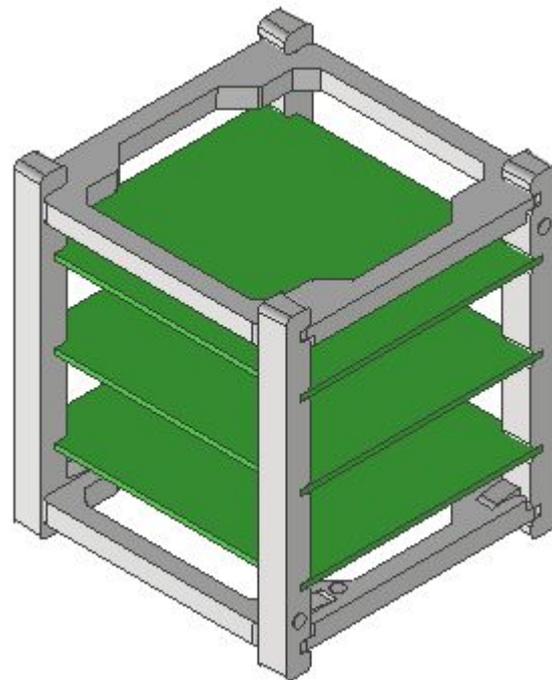
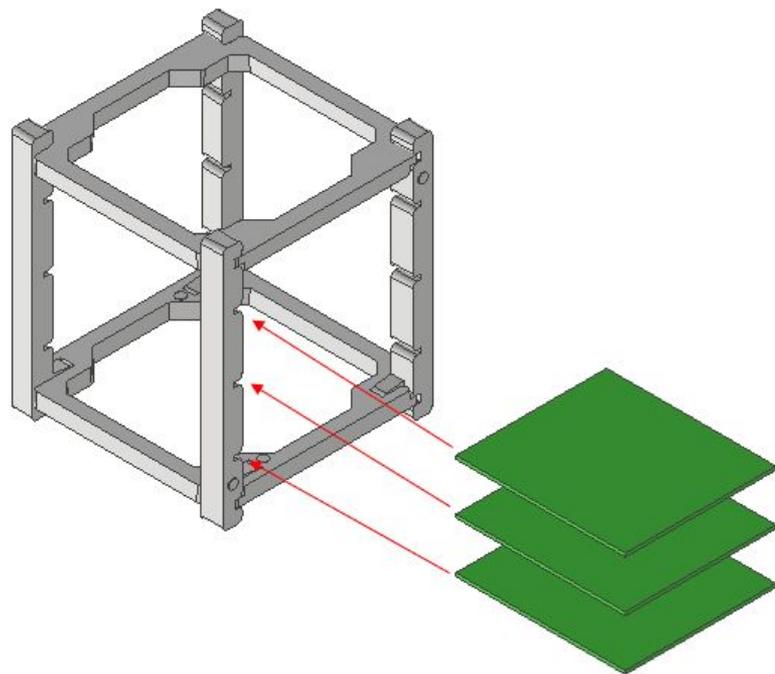
Ensamble del juguete

11



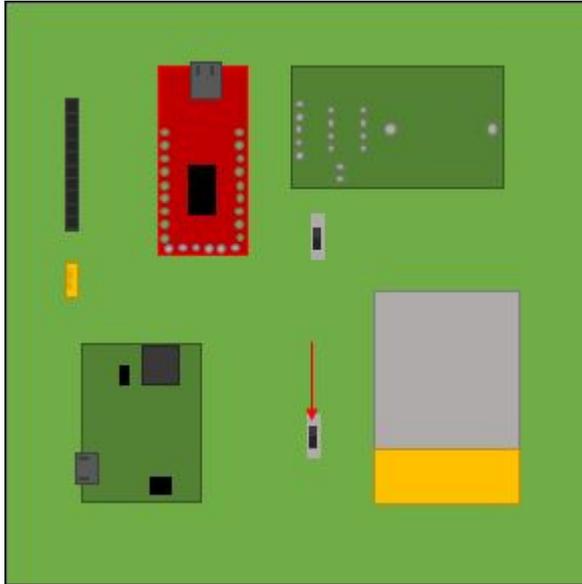
Ensamble del juguete

12

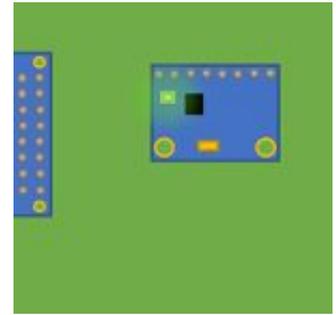
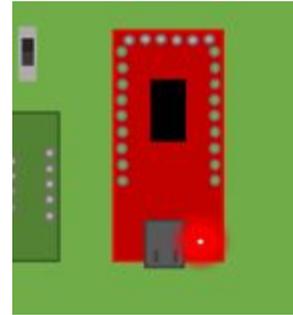


Toma de datos

1. Conectar batería.

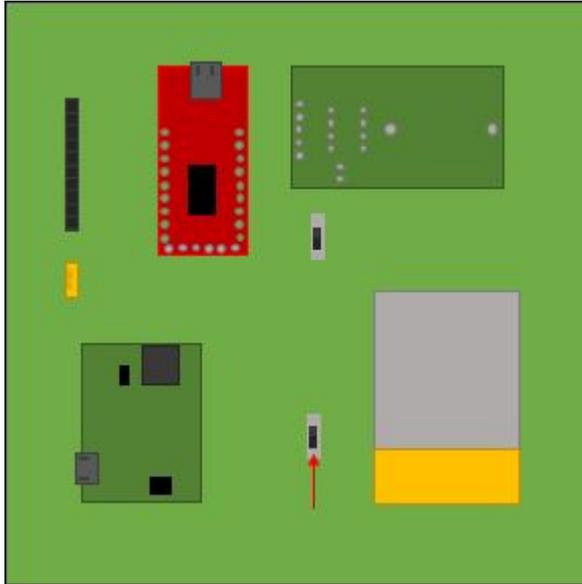


2. Verificar que enciendan las dos luces.

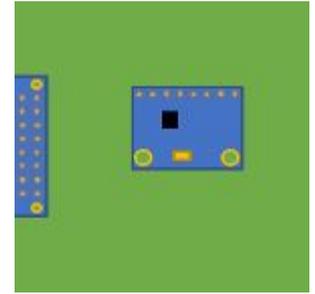
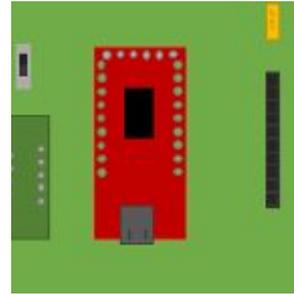


Toma de datos

3. Luego de tomar los datos, desconectar la batería.

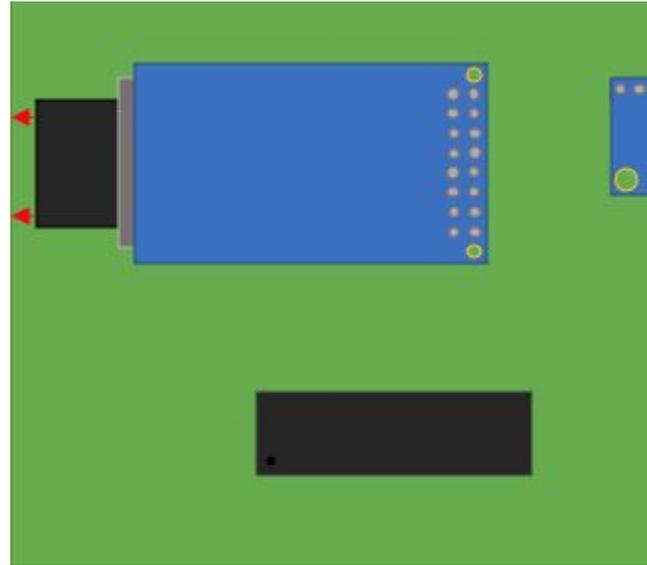
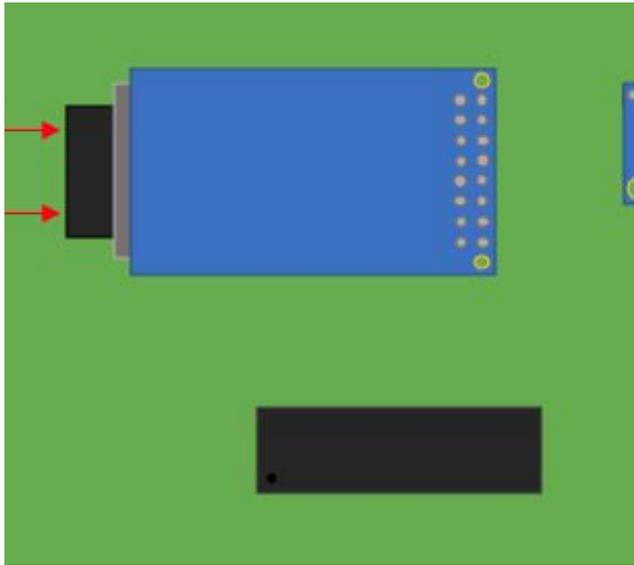


4. Verificar que se apaguen las dos luces.



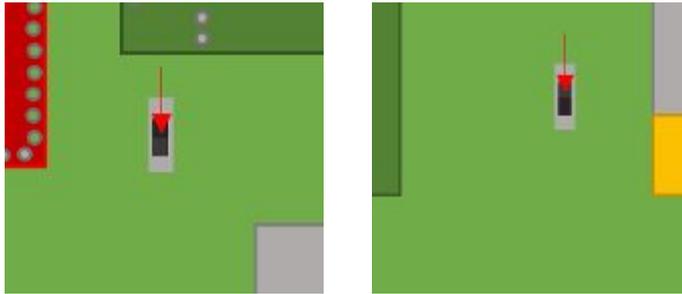
Toma de datos

5. Remover tarjeta SD y conectar a la computadora.

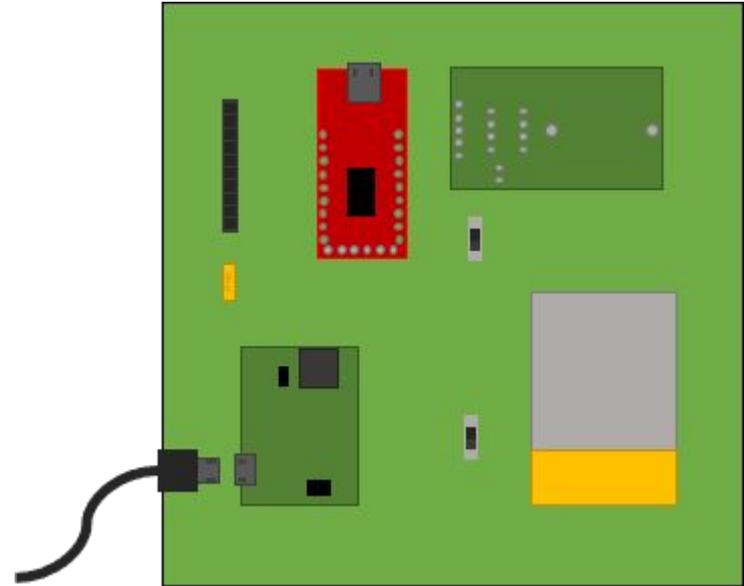


Carga de batería

1 - 2. Conectar voltaje de convertidor y conectar batería.

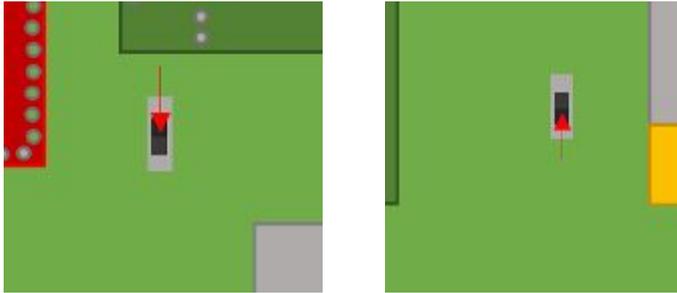


3. Conectar a fuente de 5V por medio de cable micro-USB o conectar a celda fotovoltaica



Conexión a computadora

1 - 2. Conectar voltaje de convertidor y desconectar batería.



3. Conectar a la computadora por medio de cable mini-USB .

