

**DISEÑO DE UN ROBOT MOVIL RECOLECTOR DE CAFÉ PARA
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

**DAVID CASTAÑO CORREA
SEBASTIAN GONZALEZ TAMAYO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN MECATRÓNICA
MEDELLÍN**

2012

**DISEÑO DE UN ROBOT MÓVIL RECOLECTOR DE CAFÉ PARA
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

**DAVID CASTAÑO CORREA
SEBASTIAN GONZALEZ TAMAYO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Tecnólogo en Mecatrónica**

**ASESOR:
MAURICIO VELASQUEZ MONTOYA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERIA
TECNOLOGÍA EN MECATRÓNICA
MEDELLÍN**

2012

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVO GENERAL	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. REFERENTES TEÓRICO	7
5. METODOLOGÍA	30
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	32
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Figura 1. El robot.	10
Figura 2. El robot puede tener varias ruedas para lo cual es importante estudiar su giro.	15
Figura 3. Microcontroladores.	19
Figura 4. Motorreductores .	23
Figura 5. Servomotor.	25
Figura 6. Vista externa y circuitos internos del sensor CNY70.	25
Figura 7. <i>Diferentes posibilidades de montaje del CNY70.</i>	26
Figura 8. Configuración de un amplificador operacional como Trigger-schmitt.	28
Figura 9. Indicación de compuerta lógica tipo Trigger-schmitt.	29
Figura 10. Distribución de la plataforma de desplazamiento.	33
Figura 11. Los arboles.	34
Figura 12. Colores de los granos de café.	34
Figura 13. Estructura ensamblada del robot.	36
Figura 14. Estructura ensamblada del robot vista alzado.	37
Figura 15. Estructura ensamblada del robot vista trasera.	38
Figura 16. Estructura ensamblada del robot vista derecha.	39
Figura 17. Estructura ensamblada del robot vista izquierda.	40
Figura 18. Estructura ensamblada del robot vista inferior.	41
Figura 19. Estructura ensamblada del robot vista superior.	42
Figura 20. Base.	43
Figura 21. Soporte brazo.	44
Figura 22. Brazo inferior.	45
Figura 23. Brazo superior.	46

Figura 24. Piñón grande.	47
Figura 25. Piñón pequeño .	48
Figura 26. Soporte grip y tornillo sinfín.	49
Figura 27. Grip.	50
Figura 28. Eje guía del grip.	51
Figura 29. Soporte eje del grip.	52
Figura 30. Tornillo sinfín que permitirá el desplazamiento del grip.	53
Figura 31. Soporte 2 para el tornillo sinfín.	54
Figura 32. Soporte para el sistema de oruga.	55
Figura 33. Polea grande del sistema de oruga.	56
Figura 34. Polea en la que encajaran los motores del sistema de oruga.	57
Figura 35. Polea pequeña del sistema de oruga.	58
Figura 36. Tapa del contenedor de pelotas.	59
Figura 37. Parte A de la bisagra de la tapa del contenedor.	60
Figura 38. Parte B de la bisagra de la tapa del contenedor.	61
Figura 39. Eje de la bisagra de la tapa del contenedor.	62
Figura 40. Plano eléctrico del microcontrolador.	63
Figura 41. Plano eléctrico de potencia.	64
Figura 42. Plano eléctrico de amplificación.	65
Figura 43. Impreso circuito control.	67
Figura 44. Impreso circuito potencia.	67
Figura 45. Impreso circuito amplificación.	68
Figura 46. Cuadro de bloques del software de control.	68
Figura 47. Distribución de los sensores de desplazamiento.	69
Figura 48. Diagrama de bloques de la programación.	71

INTRODUCCIÓN

En Colombia y en el mundo, a menudo se ha intentado hacer uso de la tecnología para hallar soluciones que satisfagan las necesidades del hombre; en esta búsqueda insaciable por desarrollar nuevas máquinas que faciliten la vida del ser humano se han forjado grandes descubrimientos, los cuales han hecho posible grandes avances en el campo de la robótica.

Es evidente el gran peso que tiene la agricultura en la economía colombiana; la contribución de ésta al producto interno bruto (PIB) ha estado entre el 10% y el 14% en los últimos 14 años. De acuerdo a lo anterior, uno de los problemas más abordados en Colombia es el relacionado con la optimización de la agricultura, para ello se ha buscado motivar e incentivar a los jóvenes estudiantes de áreas afines a la robótica para desarrollar soluciones innovadoras en torno al tema.

Se busca de esta forma diseñar un sistema móvil de recolección de café que ayude a los jóvenes estudiantes como un elemento lúdico, proporcionándoles información en torno al diseño y constitución del robot, el cual les permita aplicar sus conocimientos adquiridos en su proceso como estudiantes y que les sirva de motivación para competencias y concursos.

El “ENCUENTRO INTERNACIONAL DE ROBÓTICA INTERUNIVERSITARIA” es uno de los eventos que patrocina el desarrollo de técnicas agrícolas automatizadas, dentro de sus competencias se destaca la modalidad de robots recolectores de café, estos cumplen la función de seleccionar, recolectar y almacenar los frutos de la planta del café, separando los frutos maduros y medio maduros, para luego ser almacenado en contenedores distintos. El cual podría ser una oportunidad para que los estudiantes aprovechen el diseño y saquen el mejor provecho de sus conocimientos.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Institución Universitaria Pascual Bravo actualmente no cuenta con un robot móvil recolector de café destinado para la investigación y desarrollo, el cual le permita a la institución y a su comunidad hacer uso de este para fines educativos, dentro de los cuales puede haber competencias, innovación y apoyo en materias afines a la robótica.

La escases de laboratorios con material didáctico destinado a la robótica dentro de la institución universitaria pascual bravo y la falta de material para trabajar dentro de la institución, han hecho que la institución pierda el reconocimiento que poseía en tiempos pasados, debido a esto se propone la idea de diseñar un robot móvil recolector de café, el cual en un futuro pueda hacer parte de los laboratorios de la institución para ayudar a incentivar a la comunidad y de recuperar su prestigio.

2. JUSTIFICACION

Muchos investigadores de diversos países han creado como una nueva disciplina, la robótica pedagógica, con la finalidad de explotar el deseo de los educandos por interactuar con un robot para favorecer los procesos cognitivos. Martial Vivet propone la siguiente definición de robótica pedagógica: Es la actividad de concepción, creación y puesta en funcionamiento, con fines pedagógicos, de *objetos* tecnológicos que son reproducciones reducidas muy fieles y significativas de los procesos y herramientas robóticas que son usados cotidianamente, sobre todo, en el medio industrial.

Dada la definición anterior se debe reconocer que la primera actividad dentro de la robótica pedagógica es encargarse de estudiar el proceso de concebir, diseñar y construir mecanismos robóticos.

Los investigadores y estudiantes pueden aprender mucho de la construcción de los mecanismos robóticos y además éstos son puestos a funcionar para apoyar la enseñanza de conceptos de muchas otras disciplinas, esto es el alcance de la robótica pedagógica.

Se ha mencionado la importancia que tiene en robótica pedagógica hacer mecanismos parecidos a los "robots industriales" con una finalidad didáctica. El lugar en donde puede hacerse mejor esta tarea es el laboratorio, pues da la facilidad de poder practicar los conceptos aprendidos en las aulas. Además, los fenómenos del mundo real pueden ser representados por medio del funcionamiento de un mecanismo robótico, por lo tanto, estos mecanismos pueden apoyar en gran medida la enseñanza acerca del comportamiento de muchos sistemas y de simular algunas formas de los procesos de producción de la industria, apoyando didácticamente a diversas disciplinas.

José Nieto, en la Universidad de Montreal, tiene su robot de laboratorio llamado El Péndulo: un sistema robótico pedagógico para iniciar el estudio experimental de los fenómenos periódicos. Este sistema robótico posee un gran potencial didáctico, pues permite a los estudiantes ver el funcionamiento periódico de un péndulo con la facilidad de poder controlar elementos que intervienen en este tipo de movimiento.

Debido a esto, es necesario el diseño de un robot móvil recolector de café para investigación y desarrollo, con el objetivo de incluir a la institución universitaria pascual bravo en las tendencias mundiales de robótica pedagógica, esto favorecerá en gran medida a los estudiantes que integran los diferentes grupos de investigación y a los estudiantes de tecnologías afines a la robótica.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema móvil capaz de seleccionar, recolectar y almacenar los frutos simulados de la plata de café, con el fin de poder ayudar a los estudiantes del pascual bravo como un apoyo a la investigación y el desarrollo en torno a la robótica y la automatización avanzada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una estructura mecánica que le permita al robot desplazarse por toda su plataforma de trabajo y que le permita al robot alcanzar todos los frutos a lo largo de los arboles.
- Diseñar un circuito electrónico que le permita al robot controlar su desplazamiento, su sentido de orientación a través de la plataforma, se encargue de la selección de los frutos y de depositarlos en un depósito transitorio que permita el transporte de los frutos a sus depósitos finales.
- Estructurar el algoritmo de control que le otorgara la inteligencia al robot.

4. REFERENTES TEÓRICOS

4.1 ROBÓTICA

El termino robot fue usado por primera vez por el escritor Checo Karel Capek en su obra: en su obra teatral RUR (Rossum's Universal Robots), publicada en 1920. Y el termino robótica en 1941 por el bielorruso nacionalizado en estados unidos Isaac Asimov en su cuento de ciencia ficción: Mentiroso, en esta ocasión lo utilizo para referirse a la ciencia encargada del estudio, diseño y empleo de robots, maquinas capaces de simular el comportamiento de los humanos o bien para servir en operaciones o trabajos aportando en la solución algunos problemas.

El mismo Asimov introduce 1.942 en su cuento Runaround las Leyes de la robótica (Conocidas como leyes de la robótica de Asimov) a pesar de que ya se anunciaban en unas pocas historias anteriores para evitar la construcción de robots que de alguna manera se conviertan en una amenaza para la humanidad.

4.1.1 Leyes de la Robótica de Isaac Asimov

- a)** Primera ley: Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.
- b)** Segunda ley: Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.
- c)** Tercera ley: Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

La robótica tiene sus inicios hace muchos siglos atrás, el nombre de los robots era conocido como autómatas, estos eran fabricados en principio como artefactos de diversión, herramientas de trabajo y guerras, estos utilizaban engranajes, levas y palancas fabricadas en madera, rocas y algunos metales tallados a mano.

4.1.1.2 Algunos de los artefactos robóticos en la historia:

- a) El Regalado a Carlomagno en el año 809, era un reloj el cual aparecían figuras indicando la hora.

- b) Leonardo Da Vinci es el autor de una serie de diseños y construcciones mecánicas favoreciendo el avance tecnológico y científico de aquellos tiempos, entre ellas se encuentran el león manso, catapultas, diseño y mejoramiento de armas de guerra, diseño de artefactos voladores, embarcaciones, tornillos sin fin, engranajes helicoidales, rodamientos axiales, cojinetes de rodillos entre otros. (Suárez, 2005-2009).

- c) Jacques Vaucanson, creador de un modelo de telar mecánico en 1738 expuso “ánade”, era un ave la cual movía sus alas, podía nadar, tocaba sus alas con el pico, tomaba agua, picoteaba y comía alimento.

- d) Henri Maillardert fabrico en 1805 una muñeca mecánica capaz de hacer dibujos por medio de levas.

- e) El inventor americano G.C Devol en 1946, desarrolló un controlador que llevaba un registro de señales eléctricas logrando activar una maquina mecánica.

4.1.2 ¿Qué es un Robot?

Existen varias definiciones diferentes de un robot, la definición más aceptada para un robot fue dada por el Instituto de Robótica de Estados Unidos donde define:

"Un robot es un manipulador re-programable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas ó unidades especializadas a través de movimientos programados variables para la realización de varias tareas".

La robótica fue favorecida por los avances tecnológicos introducidos en la segunda guerra mundial, incorporándose el uso de computadoras electrónicas, sistemas de control retroalimentados, sensores, desarrollo del lenguaje, mecanismos mejorados, y sistemas de conducción facilitando así la construcción de máquinas automáticas que han ido evolucionando al mismo tiempo que los procesadores.

En la actualidad los robots se usan de manera extensa en la industria, siendo un elemento indispensable en una gran parte de los procesos de manufactura. Impulsados principalmente por el sector del automóvil, los robots han dejado de ser máquinas misteriosas propias de la ciencia-ficción para ser un elemento más de muchos de los talleres y líneas de producción.

Por su propia definición el robot industrial es multifuncional, esto es, puede ser aplicado a un número, en principio ilimitado, de funciones. No obstante, la práctica ha demostrado que su adaptación es óptima en determinados procesos (soldadura, peletizado, etc.) en los que hoy día el robot es sin duda alguna, la solución más rentable. (Dueñas, 2008)

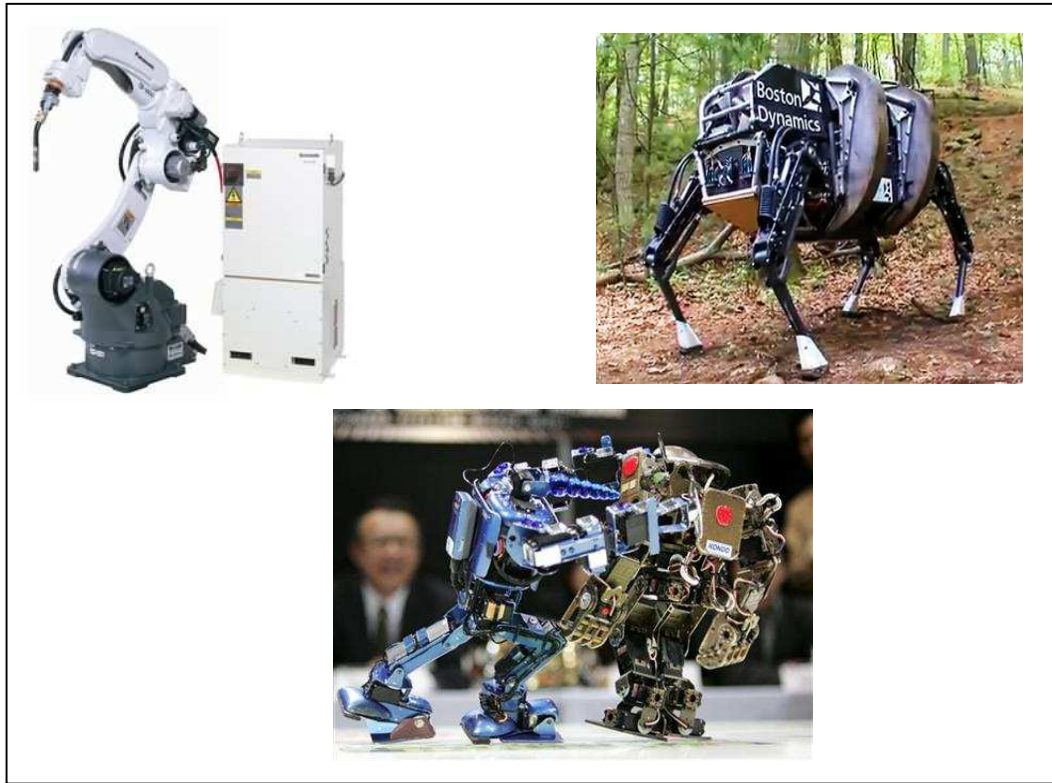


Figura 1. El robot.

4.1.3 Historia de los robots a través del tiempo

Los siguientes ítems hablarán sobre la historia de los robots.

- a) Las primeras patentes aparecieron en 1946, se implementaron robots para traslado de maquinaria de Devol, al mismo tiempo aparecen las primeras computadoras: J. Presper Eckert y John Maulchy crearon el ENIAC en la Universidad de Pensilvania y la primera máquina digital de propósito general se desarrolla en el MIT. En 1954, Devol diseña su primer robot programable el cual llama "autómata universal". La comercialización de robots comenzaría en 1959, con el primer modelo de la Planet Corporation controlado por interruptores de fin de carrera.

En 1960 se introdujo el primer robot Unimate creado por Devol, utilizaba la hidráulica y control numérico para programar los movimientos. En 1961 Unimate se instaló en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel.

- b)** En 1964 crean centros de investigación en inteligencia artificial en el MIT, el SRI (Stanford Research Institute) y en la universidad de Edimburgo.
- c)** En 1964 Japón después de importar maquinaria industrial y robots, deciden comenzar a diseñar y fabricar su propia tecnología logrando convertirse en pioneros del mercado.
- d)** En 1966 Trallfa, una firma noruega, construyó e instaló un robot de pintura por pulverización.
- e)** En los setenta, la NASA desarrollo plataformas capaces de explorar terrenos hostiles, el primer robot seria el MARS-ROVER, equipado con un brazo mecánico tipo STANFORD, un dispositivo telemétrico láser, cámaras estéreo y sensores de proximidad.
- f)** En 1978 Se introdujo el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly) para tareas de montaje por Unimation, basándose en diseños obtenidos en un estudio de la General Motors. A principios de los 80 la industria robótica creció muy rápidamente debido a Grandes inversiones en la industria de automoción.
- g)** En 1980 Un sistema robótico de captación de recipientes fue objeto de demostración en la Universidad de Rhode Island.

Con el empleo de visión de máquina el sistema era capaz de captar piezas en orientaciones aleatorias y posiciones fuera de un recipiente (Dueñas, 2008).

4.1.4 Clasificación de los Robots

Los robots han sido clasificados de acuerdo a su generación, Arquitectura Generacional, nivel de inteligencia, nivel de control, y nivel de lenguaje de programación.

4.1.4.1 Generación

Los robots industriales se determina por el orden histórico, a continuación se destacan cinco generaciones:

- a)** Primera generación: sistemas mecánicos de control que poseen “paradas fijas”, como ejemplo están los mecanismos de relojería que mueven las cajas musicales o los juguetes de cuerda.
- b)** Segunda generación: sistemas de control para dar movimiento a través de una secuencia numérica almacenada en disco o cinta magnética, se utiliza en la industria automotriz y son de gran tamaño.
- c)** Tercera generación: sistemas de control por medio de computadoras y sensores, aquí surgieron los lenguajes de programación logrando crear los primeros robots inteligentes.
- d)** Cuarta generación: robots altamente inteligentes con capacidad de análisis del mundo exterior gracias al desarrollo de sensores.

- e) Quinta generación: se encuentra en desarrollo, su característica principal consiste en modelos de conducta establecidos por su programador.

4.1.4.2 Arquitectura Generacional

- a) Robots Play-back: Estos robots funcionan con un control de lazo abierto.
- b) Robots controlados por sensores: estos usan un control en lazo cerrado tomando decisiones sobre datos obtenidos por sensores.
- c) Robots controlados por visión: utilizan un sistema de visión para realizar las diferentes acciones.
- d) Robots controlados adaptablemente: estos robots reprograman su sistema según las acciones del medio en el que opere.
- e) Robots con Inteligencia Artificial: los robots utilizan la inteligencia artificial para tomar decisiones y resolver problemas.
- f) Robots médicos: las prótesis suelen realizarse a para personas discapacitadas mejorando su nivel de vida al punto en el que pueden obtener un funcionamiento similar al natural.
- g) Androides: robots que actúan como seres humanos.
- h) Robots móviles: provistos de patas, ruedas u orugas desplazándose de acuerdo a su programación, se emplean en el transporte de mercancías, investigación en lugares de difícil acceso, exploración espacial y las investigaciones o rescates submarinos.

4.1.4.3 Nivel de Inteligencia

La Asociación de Robots Japonesa (JIRA) ha clasificado a los robots dentro de seis clases de acuerdo a su nivel de inteligencia:

- a) Dispositivos de manejo manual, controlados por un operador.
- b) Robots de secuencia arreglada.
- c) Robots de secuencia variable, el operador modifica la secuencia
- d) Robots regeneradores, el operador transporta el robot a través de la tarea.
- e) Robots de control numérico, el operador programa los movimientos.
- f) Robots inteligentes, automáticamente interactúan con cambios en el medio donde se encuentran.

4.1.4.4 Lenguaje de Programación

La clave para un funcionamiento eficiente en un robot está dada en el desarrollo de lenguajes de alto nivel. Los sistemas de programación de robots caen dentro de tres clases:

- a) Sistemas guiados: el operador conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
- b) Sistemas de programación de nivel-robot: por medio de un computador se programan las diferentes señales de entrada y salida.
- c) Sistemas de programación de nivel-tarea: el operador especifica las tareas sobre objetos que el robot manipula.

4.1.5 Robot Móviles

Se define a un robot móvil cómo un dispositivo formado por componentes físicos y computacionales, divididos en cuatro subsistemas

- a) Locomoción
- b) Percepción
- c) Razonamiento
- d) Comunicación

4.1.5.1 Robot móviles con ruedas

Los robots móviles terrestres poseen diversas aplicaciones en la industria, tales como el bodegaje, inspección y control de producción a distancia.

Poseen diversas aplicaciones en la minería (aplicaciones presentes en Chile), y en el transporte en general. También, en el contexto de robots de servicio, los robots móviles se han introducido recientemente en la forma de aspiradoras para el hogar (caso Trilobite Electrolux).

4.1.5.1.1 Ruedas

Las ruedas del robot móvil se mueven por el contacto superficial (o fricción con la Superficie), idealmente, se desplaza $2\pi r$ por vuelta.

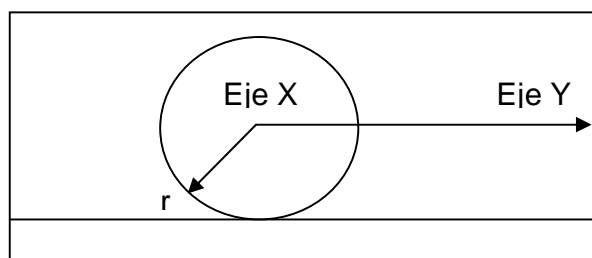


Figura 2. El robot puede tener varias ruedas para lo cual es importante estudiar su giro.

4.1.5.1.2 Giro

Un robot móvil puede contar con varias ruedas, y existe un punto alrededor del cual cada rueda sigue una trayectoria circular cuyo punto se llama Centro de Curvatura Instantáneo (CCI) en el caso de una trayectoria recta el CCI está en infinito.

4.1.5.1.3 Arreglos de ruedas

Las formas más conocidas de disponer las ruedas en los robots móviles son:

a) **DIFERENCIAL:** Este es el uno de los esquemas más sencillos, básicamente consiste de dos ruedas en un eje común, donde cada rueda se controla independientemente cuyos movimientos son:

- Línea Recta
- En arco
- Vuelta sobre su propio eje

Este esquema utiliza una o dos ruedas adicionales (*caster*) para mantener el balance, estas formas tienen diferentes nombres dependiendo de las ruedas por ejemplo: Con 3 ruedas se denominan triángulo, este esquema puede presentar problemas de estabilidad y con 4 ruedas se conoce como diamante la pérdida de contacto de las ruedas de tracción hace requerir de un sistema de suspensión. Para que el movimiento sea recto se requiere que las ruedas vayan a la misma velocidad

b) **SÍNCRONO:** Las ruedas se mueven en forma síncrona, es decir, al mismo instante.

El movimiento síncrono es un caso particular del diferencial, donde cada eje se mueve en forma dependiente para dar vuelta y avanzar. Las ruedas están ligadas de forma tal que siempre apuntan en la misma dirección y para dar vuelta giran las ruedas sobre el eje vertical, por lo que la dirección de la estructura se mantiene por lo que se requiere de un mecanismo adicional para mantener el frente del chasis (estructura del robot) en la dirección de las ruedas (torreta).

En la figura se aprecia este movimiento sobre el eje de rotación de las dos ruedas delanteras.

Algunas ventajas de los sistemas Síncronos es que se evitan los problemas de inestabilidad, pérdida de contacto del diferencial y mayor complejidad mecánica (eje de giro)

- c) TRICICLO: Los triciclos tienen dos ruedas fijas que le dan tracción, además cuentan de una rueda para la dirección que normalmente no tiene tracción. Estos sistemas tienen buena estabilidad y simplicidad mecánica, tiene facilidad para ir recto y su cinemática es más compleja.
- d) CARRO: Los sistemas de carro son similares al triciclo solo que cuentan con dos ruedas de tracción y dos ruedas para dirección. Tiene una mayor complejidad mecánica que el triciclo por el acoplamiento entre las 2 ruedas de dirección. Sus principales ventajas son buena estabilidad y facilidad de ir derecho. La desventaja es su complejidad cinemática.
- e) OMNIDIRECCIONAL: Los sistemas Omnidireccionales cuentan con 3 ruedas colocadas a 120° tal como se muestra en la figura.

Donde cada una de las ruedas tiene la capacidad de girar en ambos lados y se logra un control lineal mas simplificado que en el caso del robot diferencial. Actualmente los campeones mundiales en fútbol de robots F-180 utilizan ruedas omnidireccionales.

4.1.5.1.3 Cinemática

Los diferentes tipos de ruedas (tracción y dirección) tienen diferentes propiedades cinemáticas, por ejemplo un robot móvil normalmente tiene 3 grados de libertad respecto a una referencia: posición en el plano (X, Y) y orientación (Θ). Idealmente, independientemente de donde inicie, el robot debe poder moverse a cualquier posición y orientación (X, Y, Θ)

Restricciones cinemáticas

Se tienen dos tipos de restricciones que tiene que ver con el acoplamiento del robot, las cuales se conocen como:

- a)** Holonómicos: los diferentes grados de libertad están desacoplados. Los robots diferenciales y síncronos: se puede desacoplar la posición de orientación (rotando sobre su eje)
- b)** No-Holonómicos: los grados de libertad están acoplados, por ejemplo los triciclos y carros: para dar vuelta debe moverse hacia el frente o hacia atrás
- c)** es más complejo llegar a la posición final deseada

4.1.5.1.4 Forma del robot

La forma del robot móvil tiene un fuerte impacto en su facilidad de navegación, en particular con obstáculos y pasillos angostos por ejemplo:

- a)** Robot cilíndrico: Es más fácil navegar por la simetría del robot

b) Robots cuadrados: Es más complejo navegar, depende de la orientación del robot cilíndrico

4.1.5.2 Robot con patas

A diferencia de los robots móviles, estos robots en lugar de utilizar ruedas utilizan patas. El problema principal es la estabilidad de este robot, lo que implica una mayor complejidad en su control lo que implica también un mayor consumo energía ya que tiene que oponerse a la fuerza de gravedad. Dentro de los Robot móviles destacan los bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, octópodos, etc.

4.1.5.2.1 Movimiento básico de un hexápodo

Un hexápodo es un robot móvil con 6 patas y dependiendo de la configuración que este tenga dependerá la forma en que el robot se moverá. Por ejemplo, hay robots hexápodos que pueden tener 12 motores, dos para cada una de las patas, con lo que el algoritmo para desplazarse dependerá de esta configuración. Ahora si el robot tiene 3 motores, con esta configuración el movimiento es bastante diferente, ya que el robot solo cuenta con 3 grados de libertad.

4.2 MICROCONTROLADORES



Figura 3. Microcontroladores.

4.2.1 Definición de microcontrolador

El microcontrolador, es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria para gobernar una tarea que no se puede modificar. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.

4.2.2 Dispositivos que componen un microcontrolador

- a) CPU: unidad central de procesamiento (cerebro)
- b) MEMORIA RAM: memoria de acceso aleatorio, memoria de datos volátiles, ante fallos de alimentación el contenido se pierde.
- c) MEMORIA ROM: memoria de solo lectura, se encuentran en esta memoria instrucciones, registros y programas, se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.
- d) PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA: conexiones con el mundo exterior, pueden ser sensores, led, motores, tiristores, opto acopladores, relés, entre otros.

4.2.3 Recursos auxiliares:

- a)** Temporizadores programables (Timer's): Si se requiere medir períodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específica, etc.
- b)** Conversores análogo a digital (A/D): En caso de que se requiera medir señales analógicas, por ejemplo temperatura, voltaje, luminosidad, etc.
- c)** Salidas PWM (modulación por ancho de pulso): Para quienes requieren el control de motores DC o cargas resistivas, existen microcontroladores que pueden ofrecer varias de ellas.
- d)** Memoria EEPROM: Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de quitar la alimentación, que es un tipo de memoria
- e)** Comunicaciones seriales: Cuando se necesita establecer comunicación con otro microcontrolador o con un computador.
- f)** Técnica llamada de "Interrupciones": Cuando una señal externa activa una línea de interrupción, el microcontrolador deja de lado la tarea que está ejecutando, atiende dicha interrupción, y luego continúa con lo que estaba haciendo.

4.2.4 Circuitería externa mínima

El circuito externo necesario para que el microcontrolador lea el programa grabado en él solo necesita dos aspectos fundamentales:

el reloj y la alimentación, las demás conexiones son requeridas a medida que necesitemos entradas y/o salidas adecuando cada una de ellas con circuitería externa, el reloj se usa para darle una base de tiempo al microcontrolador, se usa para este fin un cristal de cuarzo piezoeléctrico.

4.2.5 Multiprogramación:

Multiprogramación es un término que significa que muchos programas que no están relacionados unos con otros pueden residir en la memoria del microcontrolador y tomar turnos usando la unidad central de procesamiento, cualquiera que haya usado Windows, Unix o Linux ha experimentado un entorno de multiprogramación porque estos sistemas pueden ejecutar un largo número de programas de usuario aparentemente de manera simultánea en una sola unidad central de procesamiento.

4.3 Motorreductores

Los motorreductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Los Reductores ó Motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear REDUCTORES O MOTORREDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- a) Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- b) Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- c) Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- d) Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- e) Menor tiempo requerido para su instalación.



Figura 4. Motorreductores.

4.3.1 Características del reductor o motorreductor – tamaño

- a) Potencia, en HP, de entrada y de salida.
- b) Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.
- c) PAR (o torque), a la salida del mismo, en KG/m.
- d) Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

4.3.2 Características del trabajo a realizar

- a) Tipo de máquina motriz.
- b) Tipos de acoplamiento entre máquina motriz, reductor y salida de carga.
- c) Carga: uniforme, discontinua, con choque, con embrague, etc.
- d) Duración de servicio: horas/día.
- e) N° de Arranques/hora.

4.4 SERVOMOTOR

Un servomotor es un pequeño dispositivo de rotación con un eje de rendimiento controlado él puede acomodarse en un punto determinado de su eje de acuerdo a una señal codificada, con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la seña la codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia.

Los servomotores se usan comúnmente para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, también se usan en pequeños ascensores y timones y en la robótica.



Figura 5. Servomotor.

4.4 Sensor CNY70

El CNY70 es un sensor de infrarrojos de corto alcance basado en un emisor de luz y un receptor, ambos apuntando en la misma dirección, y cuyo funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto, y la detección del rayo reflejado por el receptor.

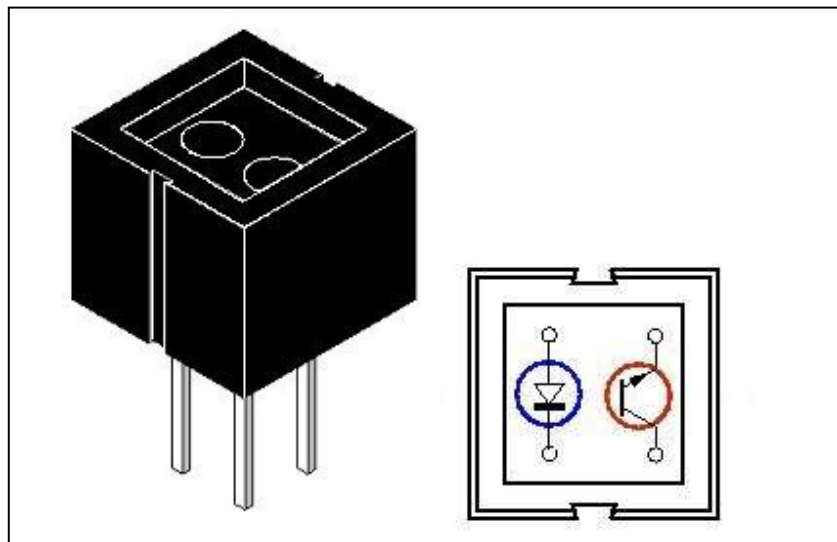


Figura 6. Vista externa y circuitos internos del sensor CNY70.

El CNY70 tiene cuatro pines de conexión. Dos de ellos se corresponden con el ánodo y cátodo del emisor, y las otras dos se corresponden con el colector y el emisor del receptor. Los valores de las resistencias son típicamente 10K ohmios para el receptor y 220 ohmios para el emisor.

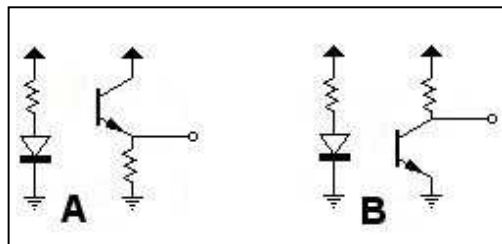


Figura 7. Diferentes posibilidades de montaje del CNY70.

Es importante fijarse bien en el lateral donde aparece el nombre del sensor, para identificar correctamente cada uno de los pines.

4.4.1 Manejo del sensor

El CNY70 devuelve por la pata de salida correspondiente, según el montaje, un voltaje relacionado con la cantidad de rayo reflejado por el objeto.

Para el montaje A, se leerá del emisor un '1' cuando se refleje luz y un '0' cuando no se refleje. Para el montaje B los valores se leen del colector, y son los contrarios al montaje A.

Si conectamos la salida a una entrada digital del microcontrolador, entonces obtendremos un '1' o un '0' en función del nivel al que el microcontrolador establece la distinción entre ambos niveles lógicos. Este nivel se puede controlar introduciendo un buffer trigger-schmitt (por ejemplo el 74HC14, ¡jojo que es un inversor!) entre la salida del CNY70 y la entrada del microcontrolador. Este sistema es el que se emplea para distinguir entre blanco y negro, en la conocida aplicación del robot seguidor de línea.

Otra posibilidad es conectar la salida a una entrada analógica. De este modo, mediante un conversor A/D se pueden obtener distintos valores. Esto permite la detección dinámica de blanco y negro (muy útil cuando el recorrido presenta alteraciones en la iluminación). Pero también, si empleamos el sensor con objetos de distintos color, establecer un mecanismo para la detección de los distintos colores, determinando los valores marginales que separan unos colores de otros. Esto permite emplear el sensor para alguna aplicación donde la detección del color sea necesaria.

4.5 TRIGGER-SCHMITT

En electrónica un Trigger-schmitt o disparador de Schmitt es un tipo especial de circuito comparador. Fue inventado por el estadounidense Otto Herbert Schmitt.

4.5.1 Funcionamiento

El Trigger-schmitt usa la histéresis para prevenir el ruido que podría tapar a la señal original y que causaría falsos cambios de estado si los niveles de referencia y entrada son parecidos.

Para su implementación se suele utilizar un amplificador operacional realimentado positivamente. Los niveles de referencia pueden ser controlados ajustando las resistencias R_1 y R_2 :

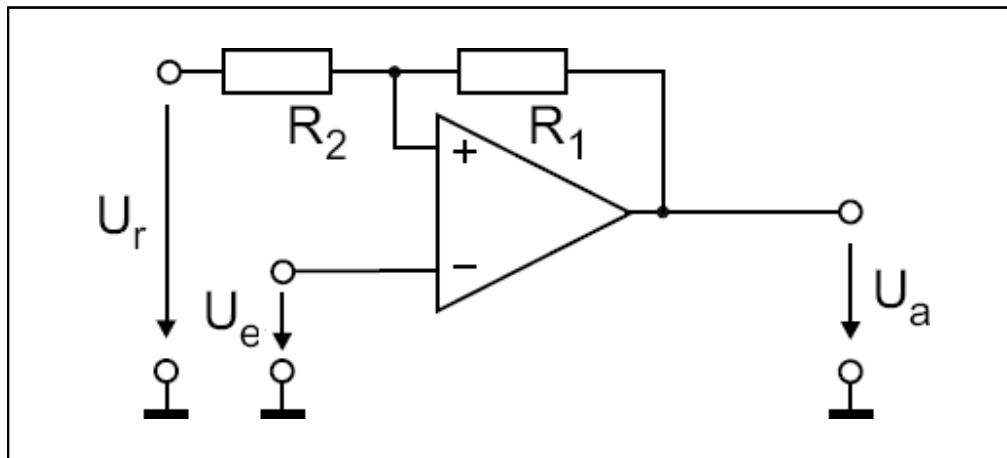


Figura 8. Configuración de un amplificador operacional como Trigger-schmitt.

Por ejemplo, si el Trigger-schmitt inicialmente está activado, la salida estará en estado alto a una tensión $V_{out} = +V_s$, y las dos resistencias formarán un divisor de tensión entre la salida y la entrada. La tensión entre las dos resistencias (entrada +) será V_+ , que es comparada con la tensión en la entrada -, que supondremos 0 V (en este caso, al no haber realimentación negativa en el operacional, la tensión entre las dos entradas no tiene porque ser igual). Para producir una transición a la salida, V_+ debe descender y llegar, al menos, a 0 V. En este caso la tensión de entrada es:

$$U_{in} = -U_s \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Llegado este punto la tensión a la salida cambia a $V_{out} = -V_s$. Por un razonamiento equivalente podemos llegar a la condición para pasar de $-V_s$ a $+V_s$:

$$U_{in} = +U_s \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

Con esto se hace que el circuito cree una banda centrada en cero, con niveles de disparo $\pm (R_1/R_2)$ VS. La señal de entrada debe salir de esa banda para conseguir cambiar la tensión de salida.

Si R_1 es cero o R_2 es infinito (un circuito abierto), la banda tendrá una anchura de cero y el circuito funcionará como un comparador normal.

Para indicar que una puerta lógica es del tipo Trigger-schmittse pone en el interior de la misma el símbolo de la histéresis (ver figura 5).

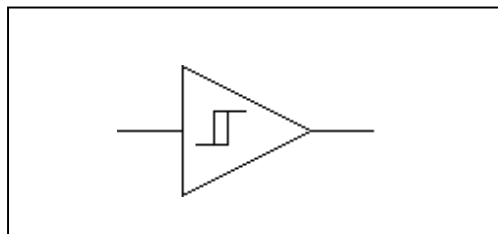


Figura 9. Indicación de compuerta lógica tipo Trigger-schmitt.

5. METODOLOGIA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio implementado para la solución del problema es el tipo de estudio conocido como experimental.

5.2 METODO DE LA INVESTIGACION

La metodología a seguir para el desarrollo de los objetivos consiste fundamentalmente en la utilización del método positivista que implica la observación, la experimentación, y la verificación porque es esencialmente cuantitativo y en él se utiliza el conocimiento científico para resolver un problema práctico, la utilización de los sistemas del robot móvil recolector de café para investigación y desarrollo.

5.3 POBLACION

La población a la que está dirigido dicho proyecto está delimitada por los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo, que pertenezcan a las áreas de la robótica, la electrónica, la mecánica y afines a estas. También puede servir a otras instituciones que deseen aportar o adquirir conocimientos acerca de dicho proyecto.

5.4 TECNICAS PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION

El proyecto se realizara a través de las siguientes actividades:

- Recopilación de la información: Esta etapa se desarrolla con la finalidad de reunir toda la información referente a los requerimientos del proyecto.
- Depuración de toda la información recopilada anteriormente.
- Diseño: En esta fase del proyecto se realizarán todos los cálculos y estudios necesarios para el diseño del proyecto.
- Verificación de funcionamiento del proyecto (software y circuitería simulada).

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

Los robots cada día se encuentran más cerca del hombre común y desarrollan tareas en donde prestan ayuda a los miembros de la sociedad, ya sea en el hogar, la industria, la medicina, la construcción y el trabajo.

Dicho esto, se plantea la construcción de un Robot que se encuentre en capacidad de recolectar granos maduros y sobre maduros de una plantación dejando en los arboles los granos verdes. Los granos recolectados deben ser clasificados y posteriormente transportar hacia una zona de almacenamiento que se encuentra en un lugar llamado “beneficiadero”.

6.1 OBJETIVO DEL ROBOT

El escenario representa parte de un cultivo compuesto por tres arboles en donde se encuentran los granos de café maduros (Rojo y naranja), verdes (verdes) y sobre maduros (azules); los granos de café se encuentran representados por pelotas de golf.

Además del cultivo, se presenta parte del beneficiadero conformado por dos despensas representadas en dos cajas identificadas por el color rojo y azul en donde debe ser almacenado los granos de café recolectados por el robot. En el centro del escenario hay dos espacios huecos que simbolizan las albercas en donde se almacena el agua, utilizada para el proceso de lavado de los granos de café y que a su vez deben ser evadidas por el robot en el momento de navegar entre el cultivo y el beneficiadero.

El robot debe ser capaz de diferenciar el color de cada uno de los granos de café; tomar solo los granos maduros y sobre maduros y posteriormente depositarlos en las tolvas que se encuentran en el beneficiadero, clasificándolos como granos maduros y sobre maduros.

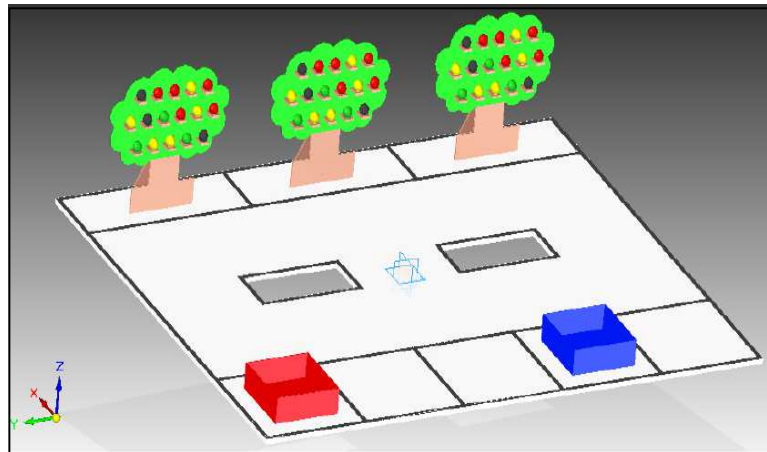


Figura 10. Distribución de la plataforma de desplazamiento.

La plataforma consta de una base completamente nivelada en melamina blanca con unas dimensiones de 2400 [mm] por 2000 [mm]. Todo el perímetro se encuentra marcado con cinta negra 3m de 19 [mm], de esta forma poder hacer uso de sensores para determinar la pista.

La zona de cultivo está dividida en 3 sectores de 813 [mm] por 300 [mm] dentro de los cuales se encuentran los 3 árboles.

La zona de beneficiadero está dividida en 5 sectores de 496[mm] x 500[mm]. Dos de estos destinados para las tolvas donde se almacenaran los granos de café y otro de estos destinado como el punto inicial del robot recolector.

La zona intermedia por donde debe navegar el robot contiene 2 albercas de 500[mm] por 200[mm]. De dimensión las cueles deben ser evitadas por el robot al momento de su desplazamiento.

En la zona de cultivo habrán tres arboles de madera. En la parte superior de cada árbol se ubican tres filas de soportes en donde se ubican las pelotas de golf que simbolizan los granos de café. En la fila inferior y superior se ubican 5 granos de café y en la intermedia 6 granos de tal forma que cada árbol contendrá 16 granos que serán repartidos entre verdes, rojos, naranja y azules

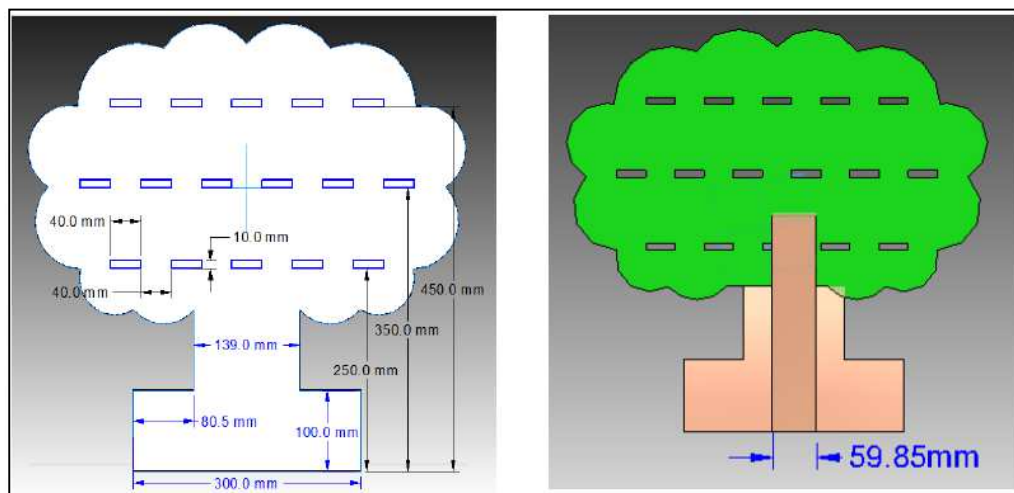


Figura 11. Los arboles.

Los granos de café son pelotas de golf de 40 [mm] de diámetro y 45 gramos de peso distribuidos de la siguiente manera:

					
Maduro	Maduro	Maduro	Verde	Sobre maduro	Sobre maduro

Figura 12. Colores de los granos de café.

6.2 EL ROBOT

El robot debe ser un dispositivo móvil completamente autónomo utilizando únicamente los dispositivos que lleva embarcados. No tiene restricciones de fabricación en cuanto a materiales, componentes mecánicos y electrónicos. De tal forma que pueda contener una cantidad ilimitada de piezas, sensores, actuadores y procesadores prefabricados o hechos a mano.

El robot debe cumplir la condición de tener una dimensión inicial, la cual es determinada mediante un cubo de 300 [mm] de lado; a partir de este momento el robot puede extender un brazo, una extensión o cualquier dispositivo que le permita alcanzar los frutos de los arboles. Solo puede tener un pulsador para iniciar el proceso de recolección y no debe deteriorar el escenario.

6.3 HARDWARE

6.3.1 Estructura mecánica

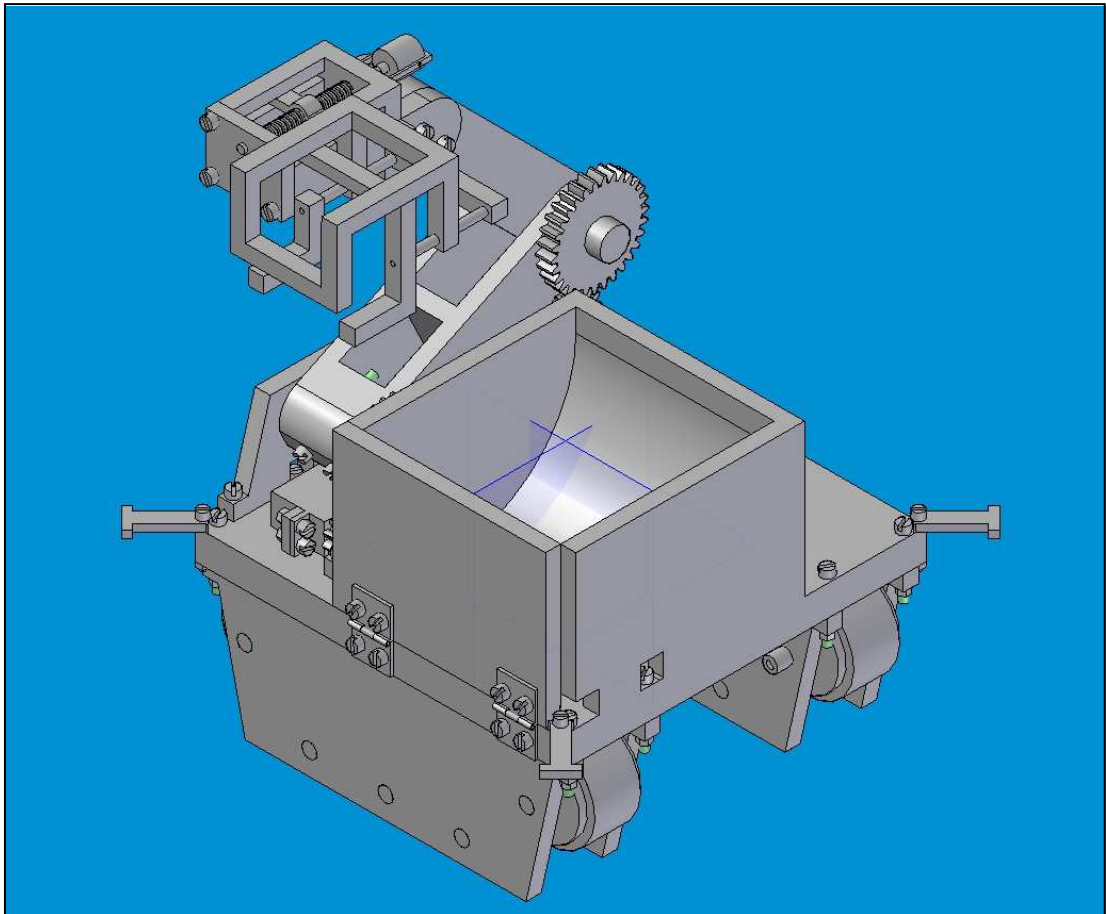


Figura 13. Estructura ensamblada del robot.

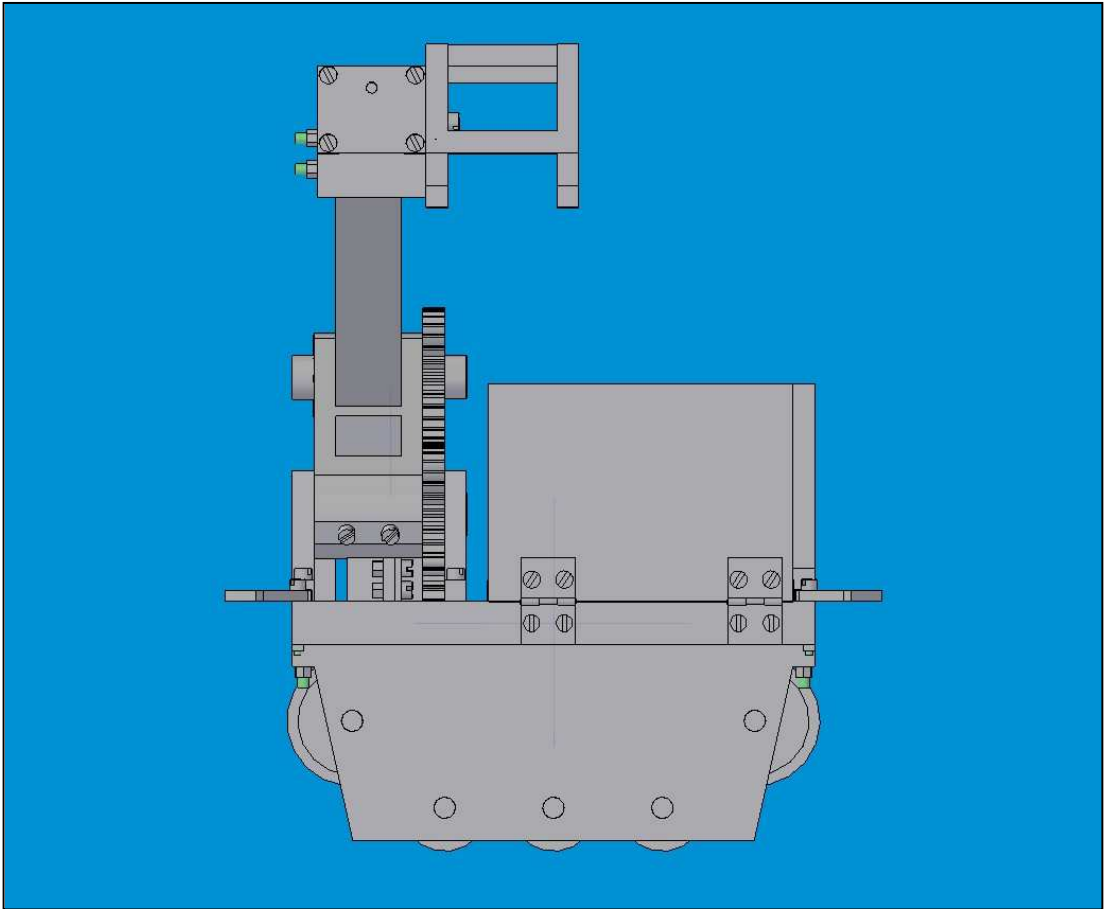


Figura 14. Estructura ensamblada del robot vista alzado.

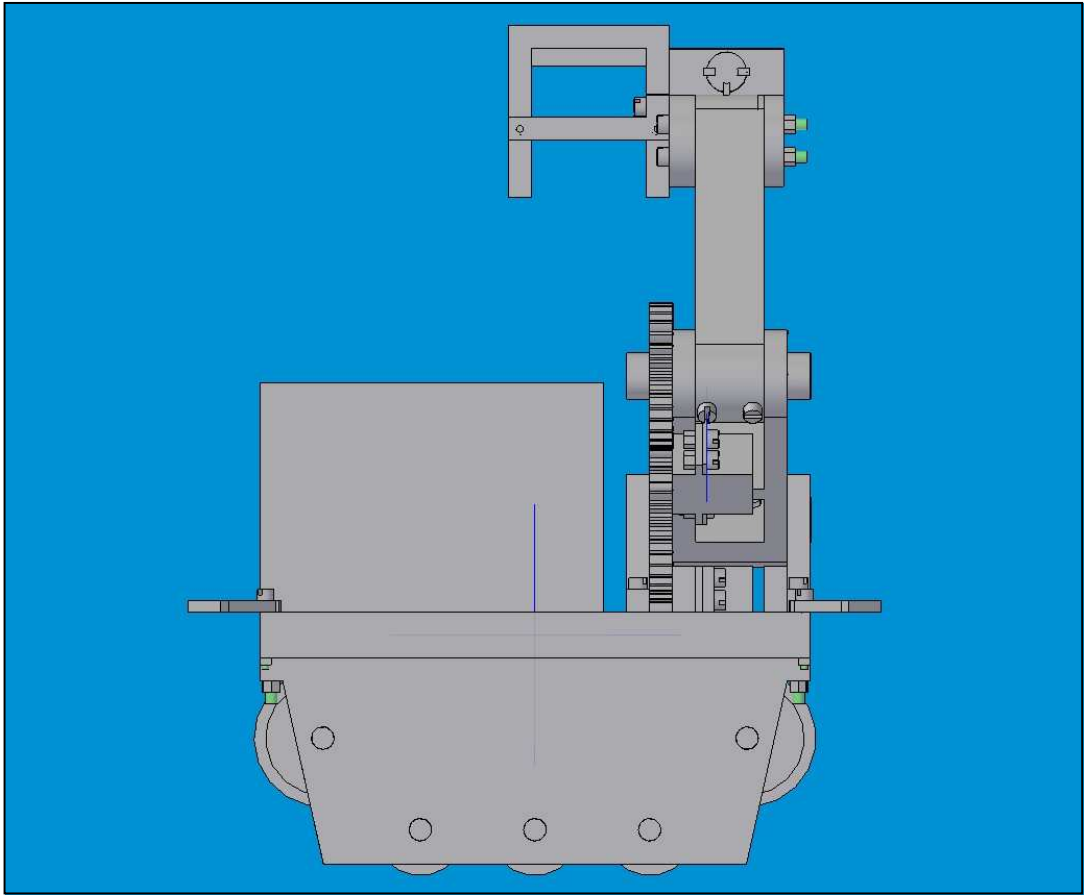


Figura 15. Estructura ensamblada del robot vista trasera.

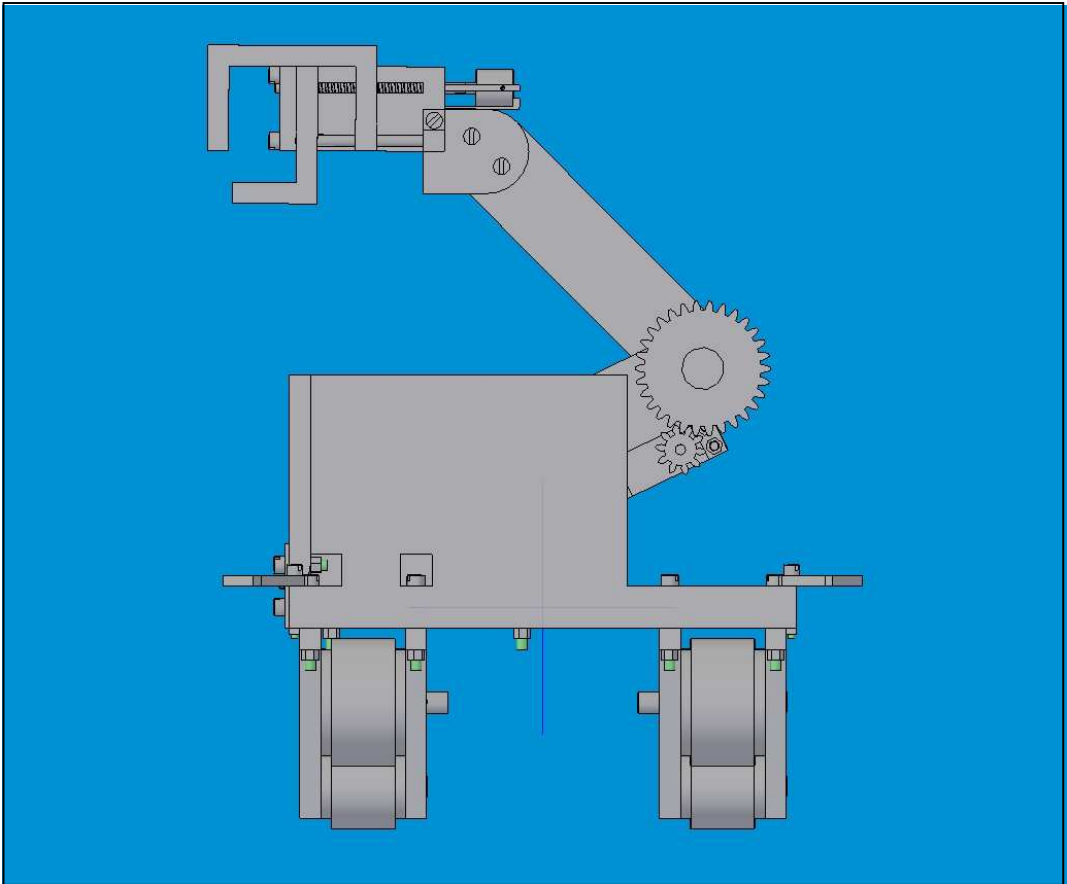


Figura 16. Estructura ensamblada del robot vista derecha.

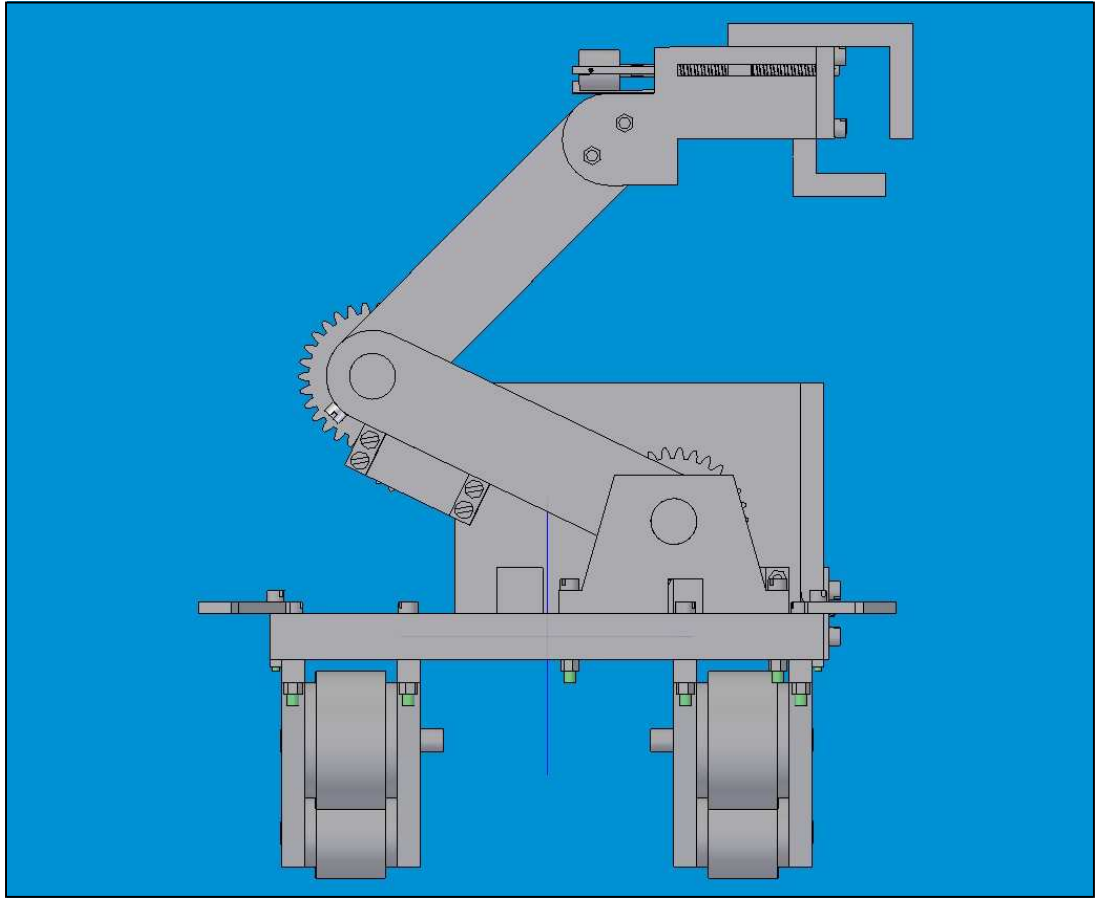


Figura 17. Estructura ensamblada del robot vista izquierda.

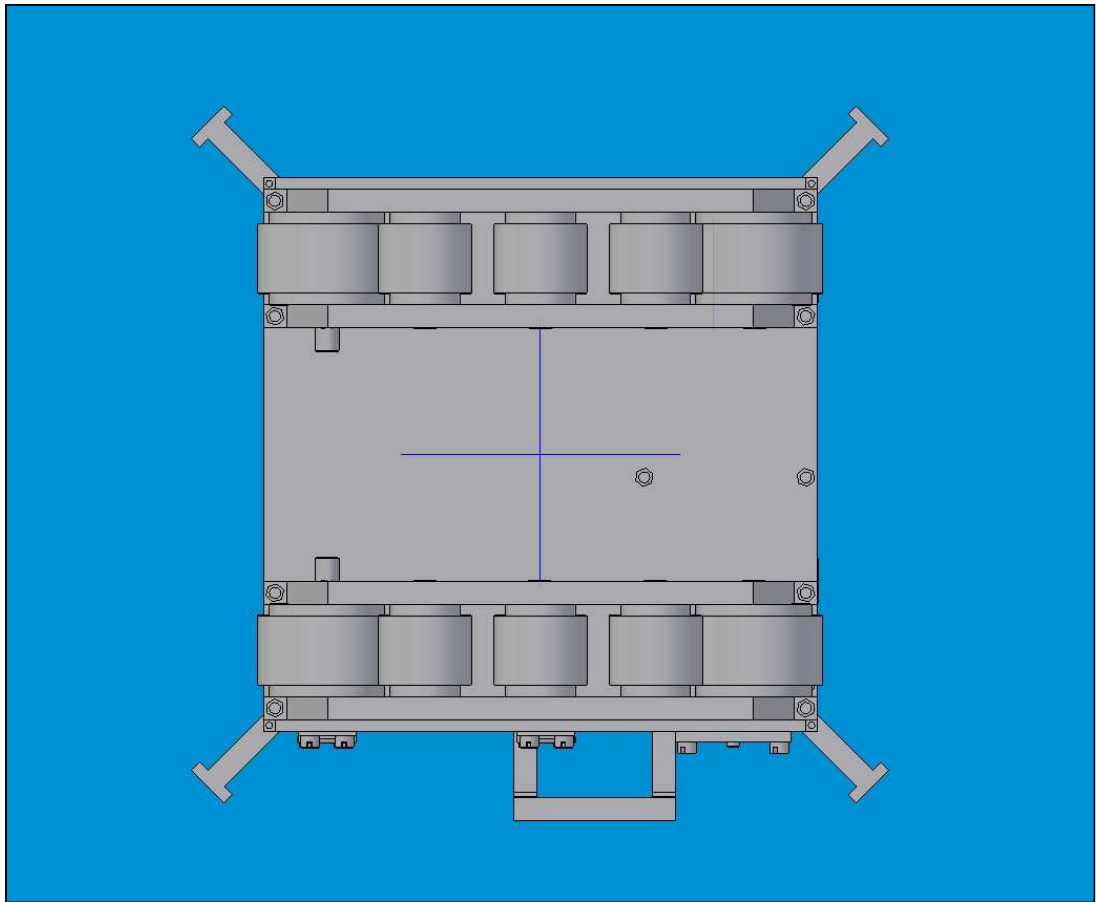


Figura 18. Estructura ensamblada del robot vista inferior.

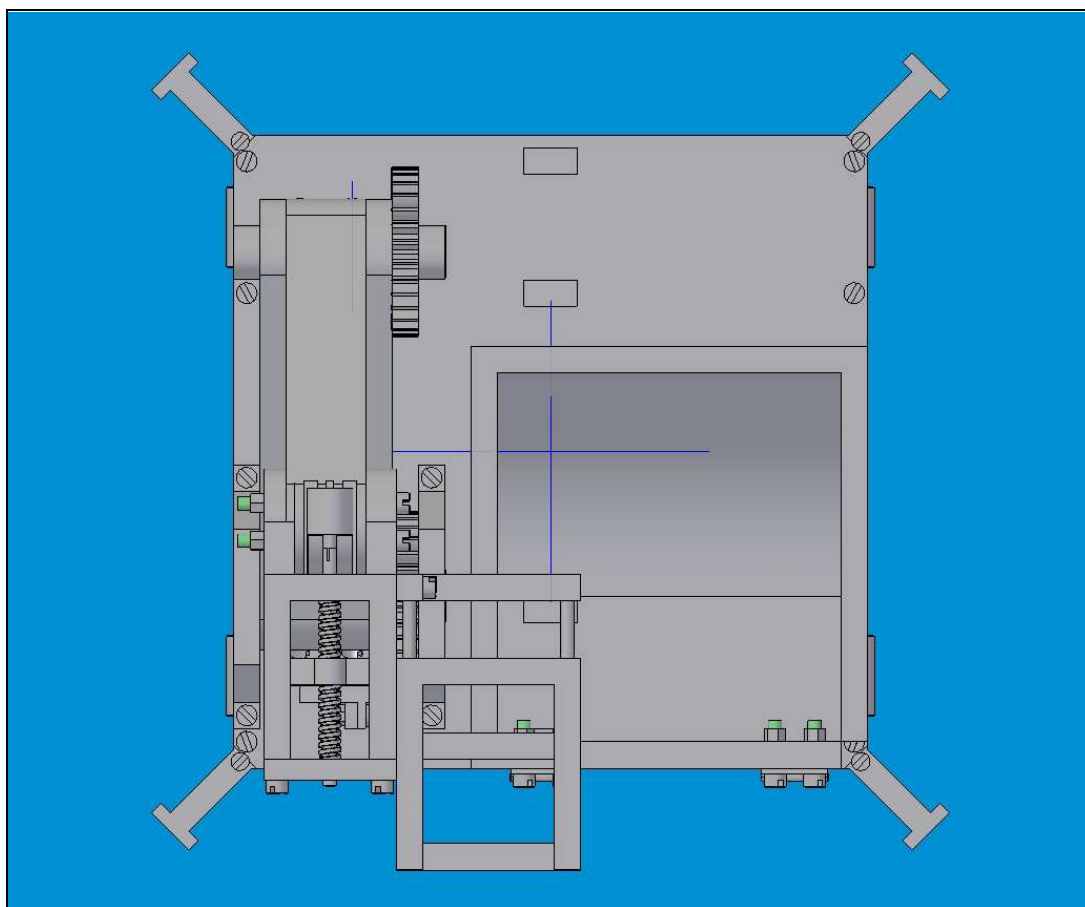


Figura 19. Estructura ensamblada del robot vista superior.

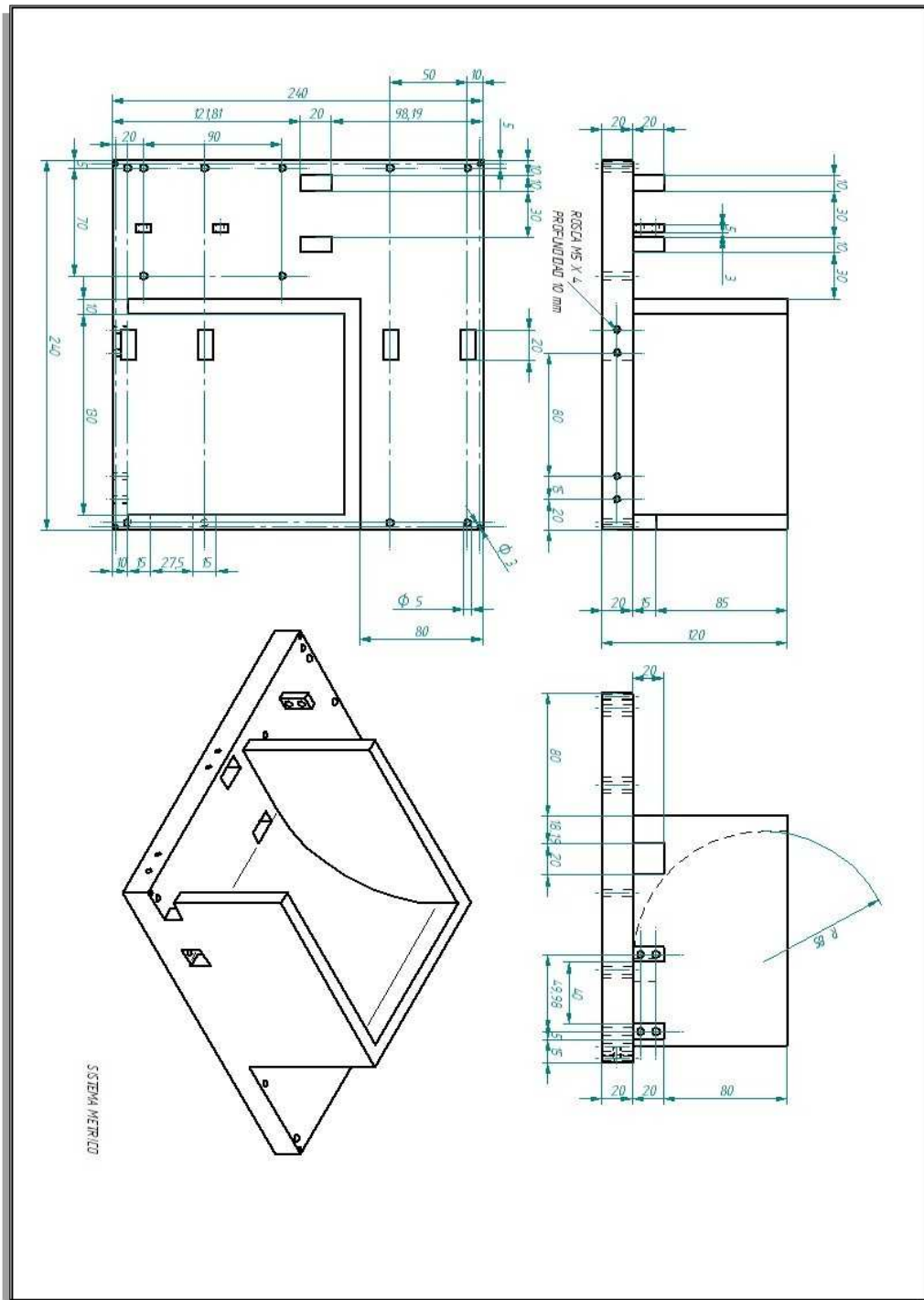


Figura 20. Base.

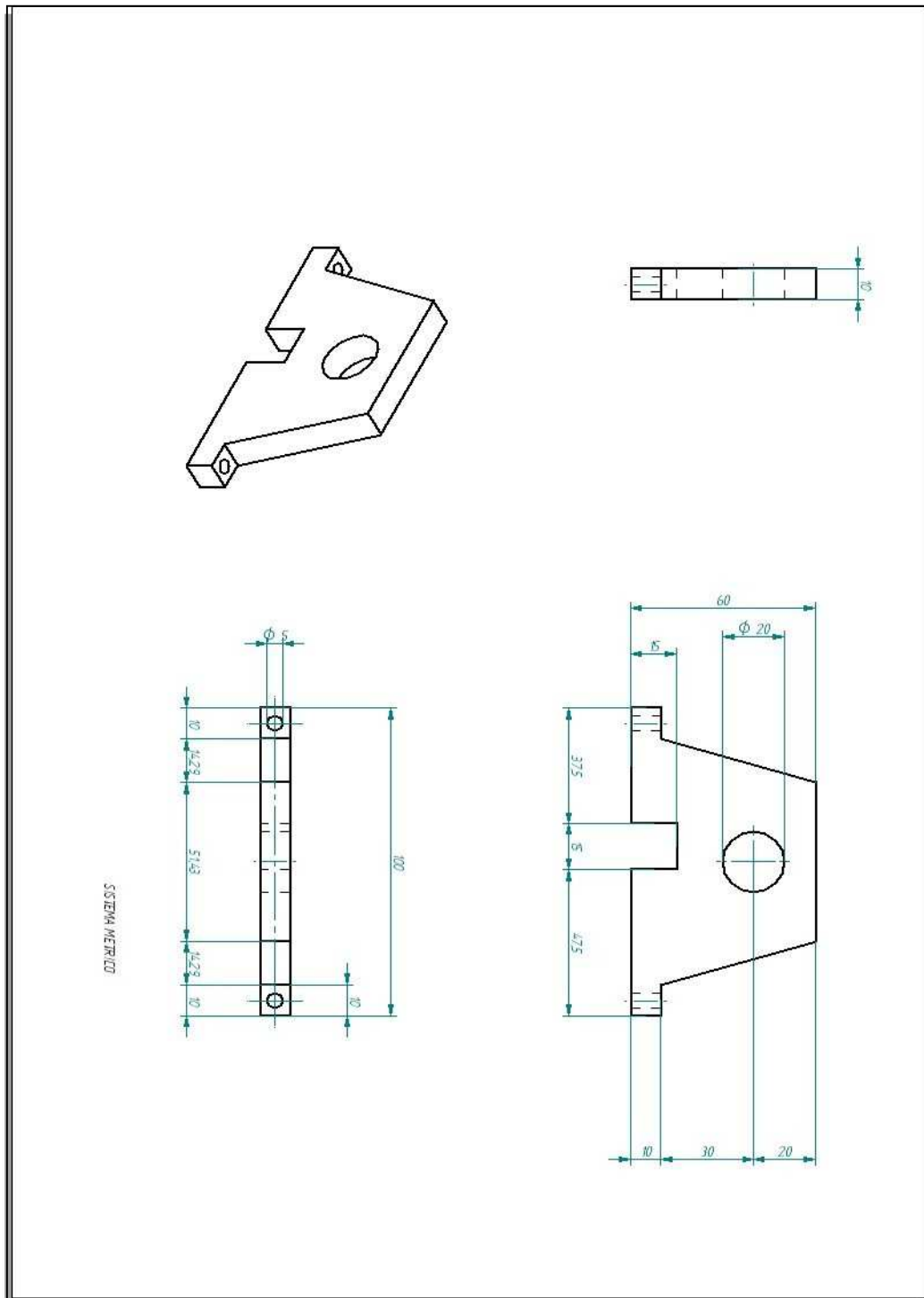


Figura 21. Soporte brazo.

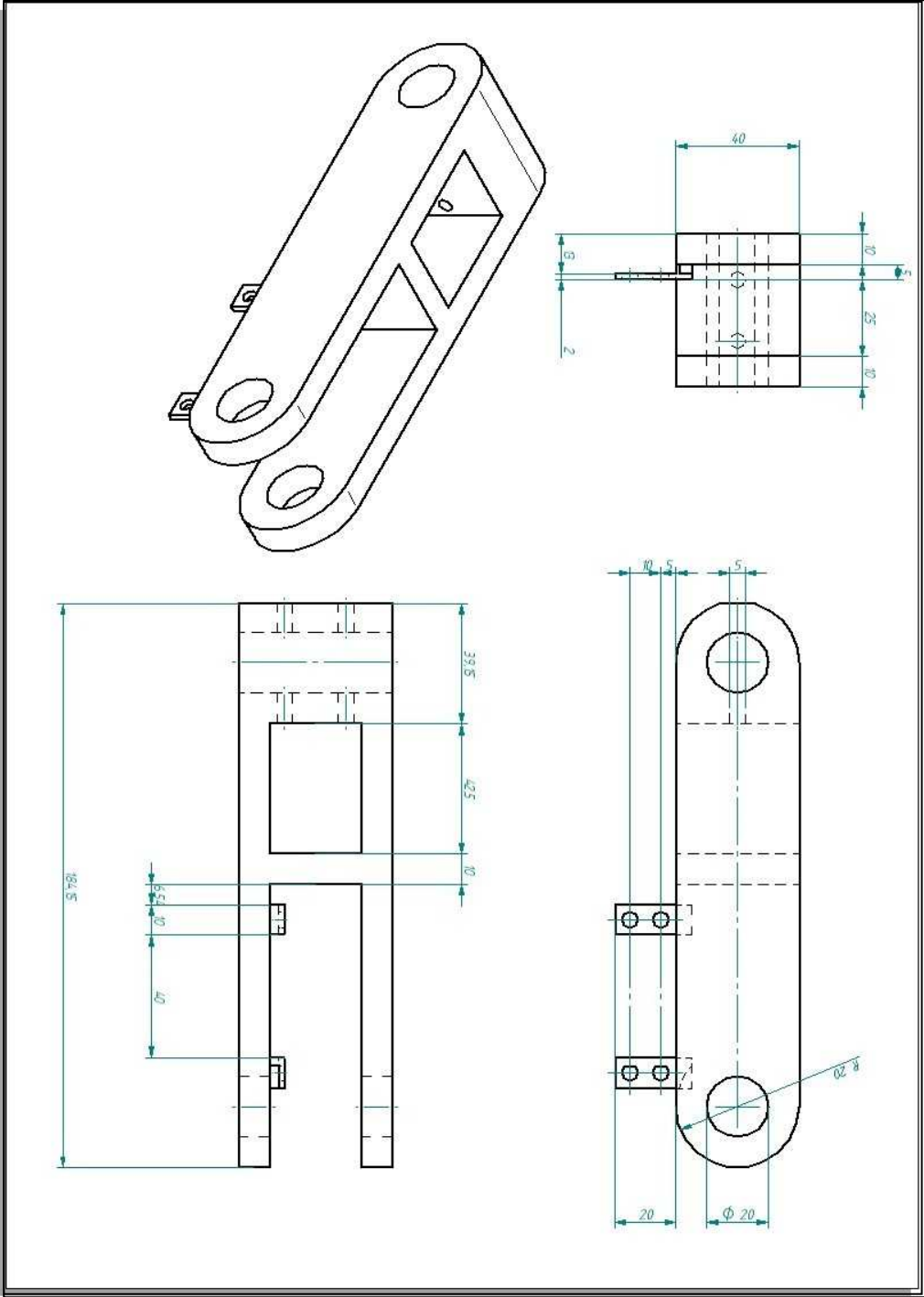


Figura 22. Brazo inferior.

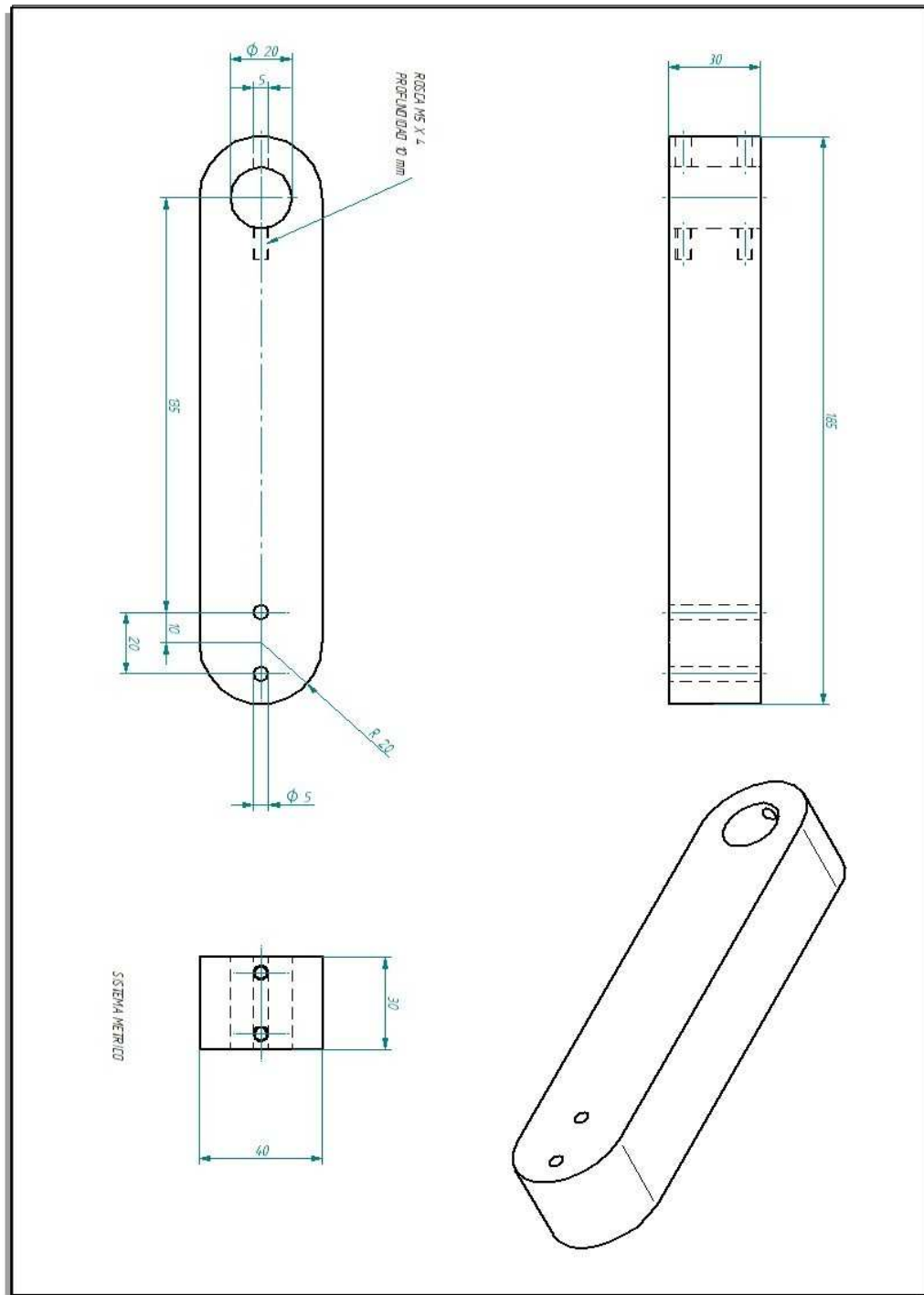


Figura 23. Brazo superior.

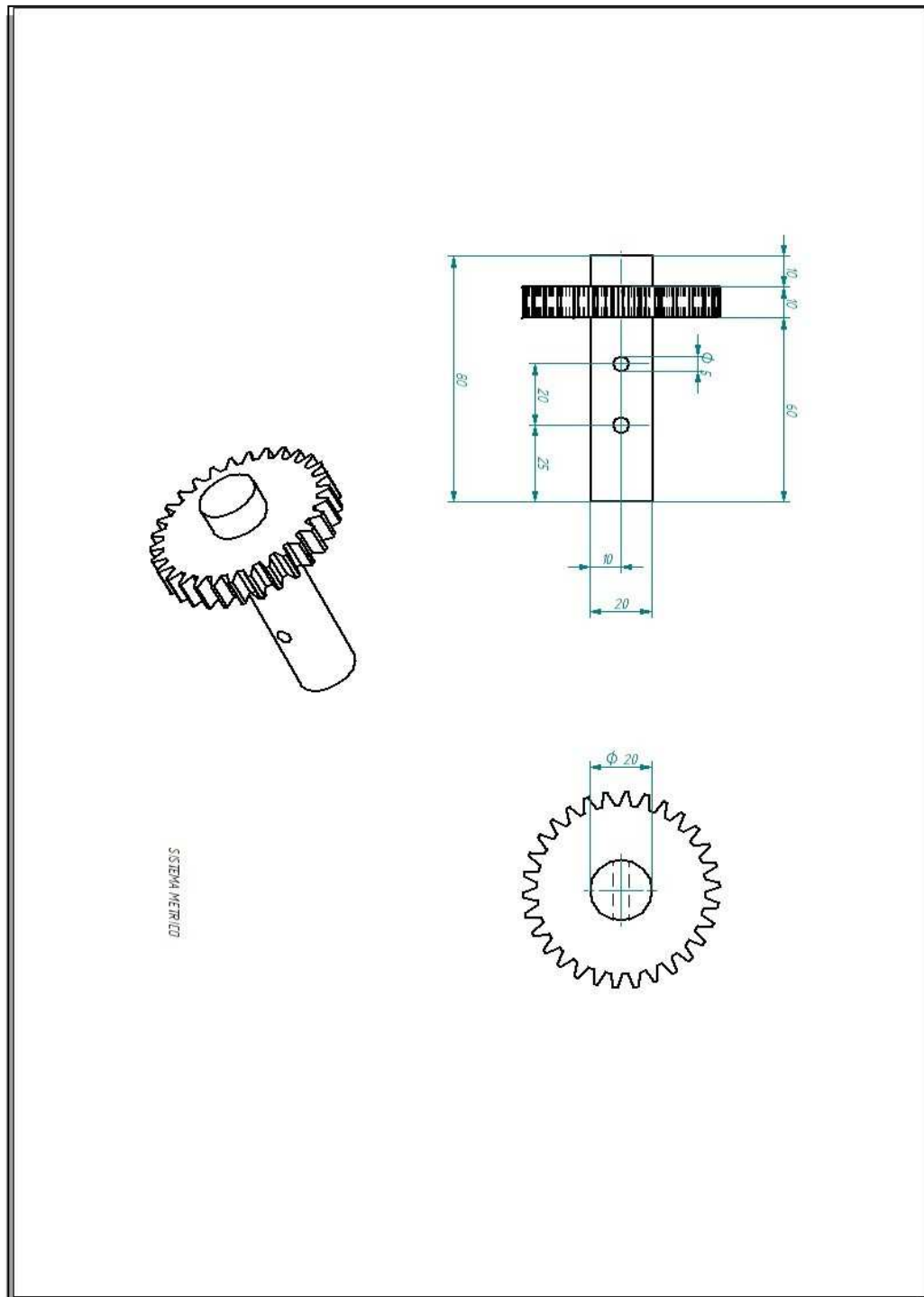


Figura 24. Piñón grande.

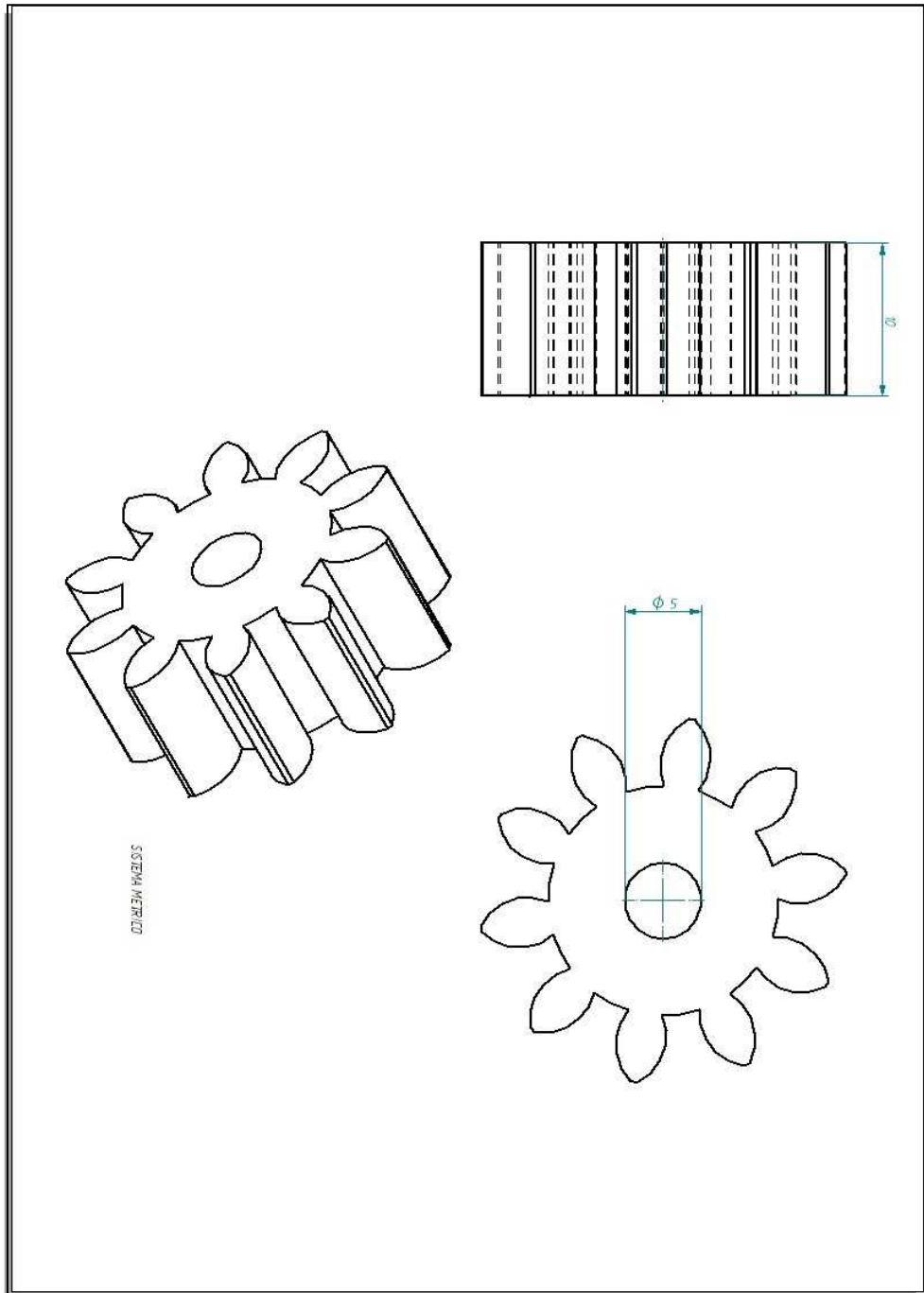


Figura 25. Piñón pequeño.

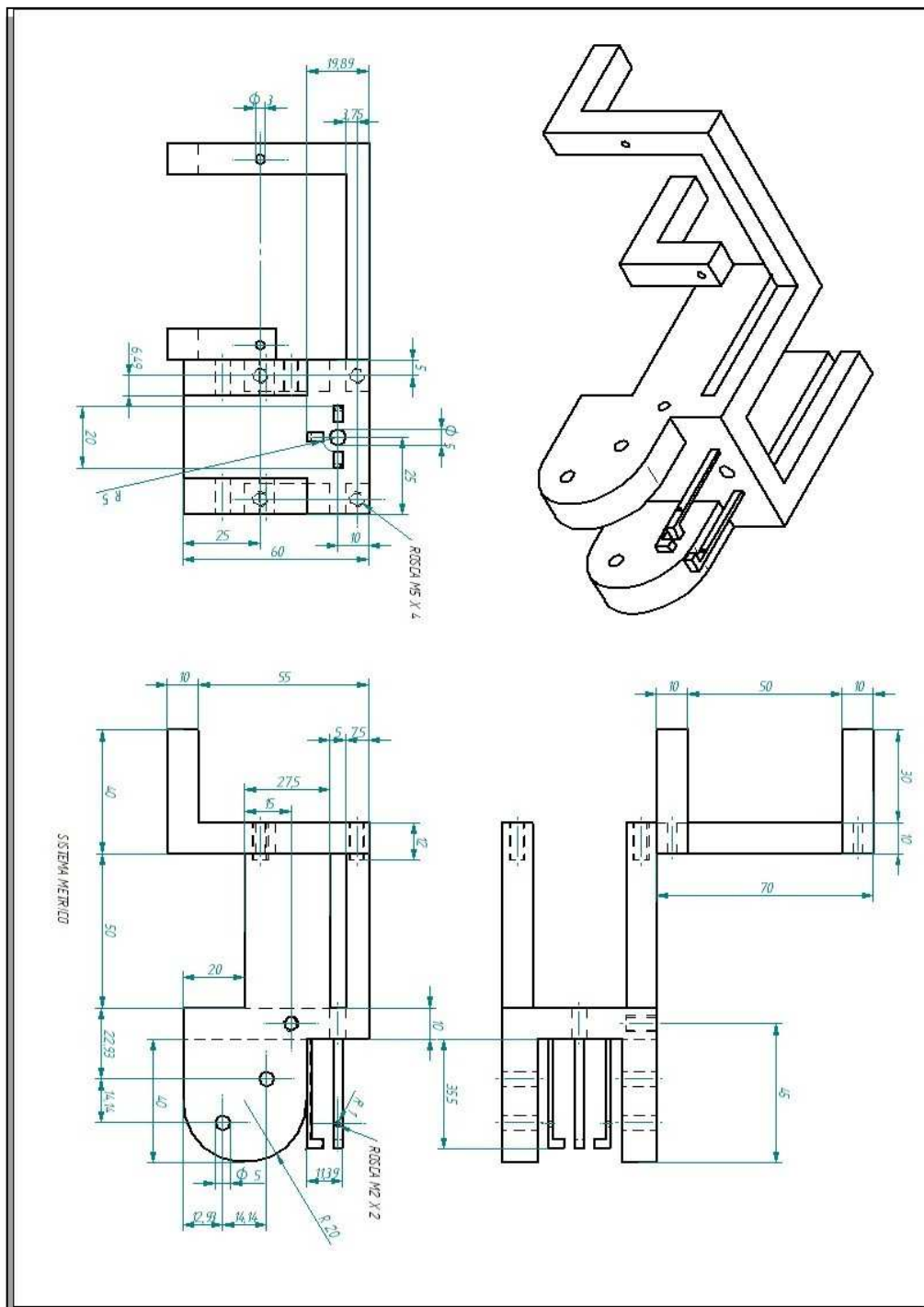


Figura 26. Soporte grip y tornillo sinfín.

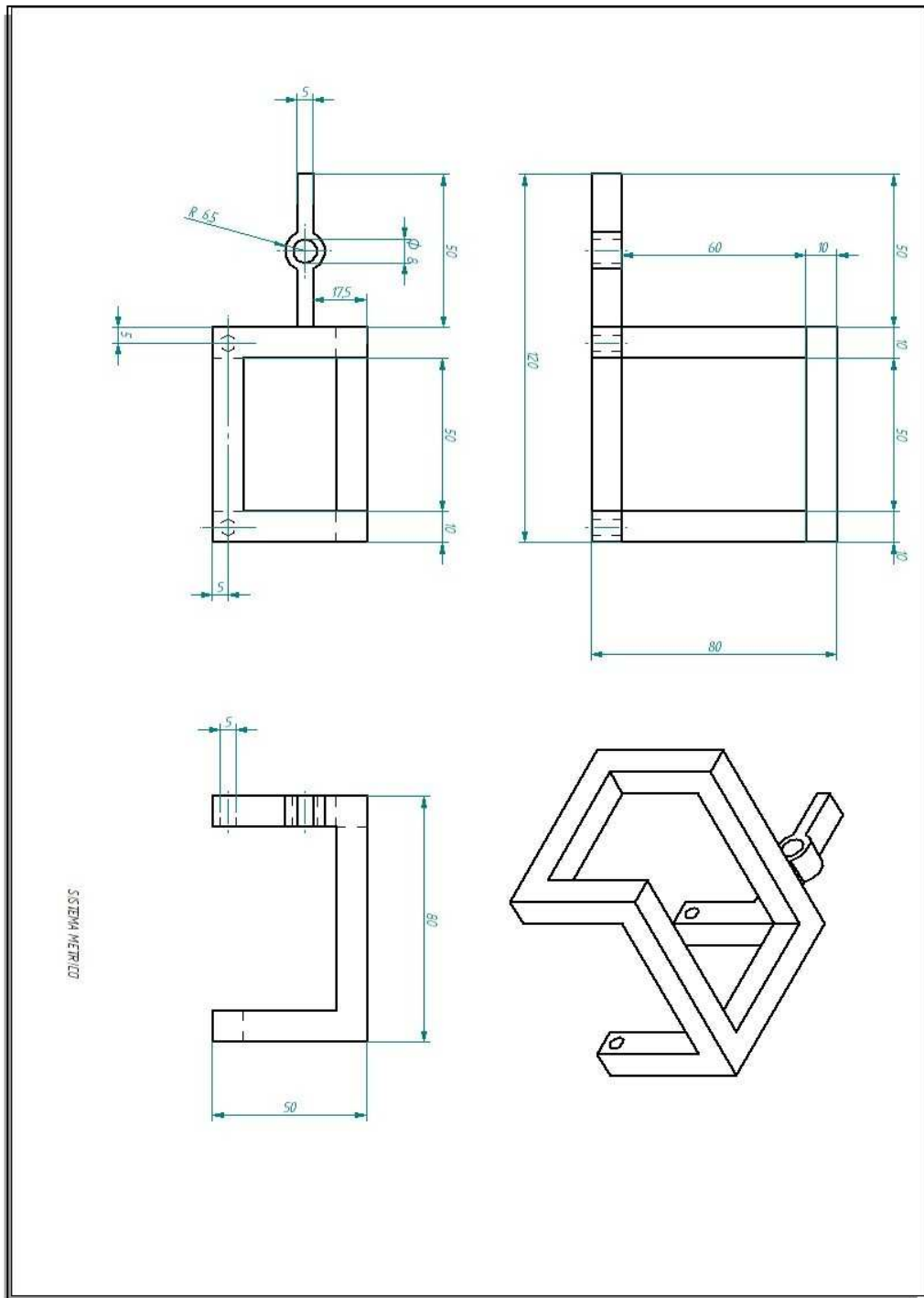


Figura 27. Grip.

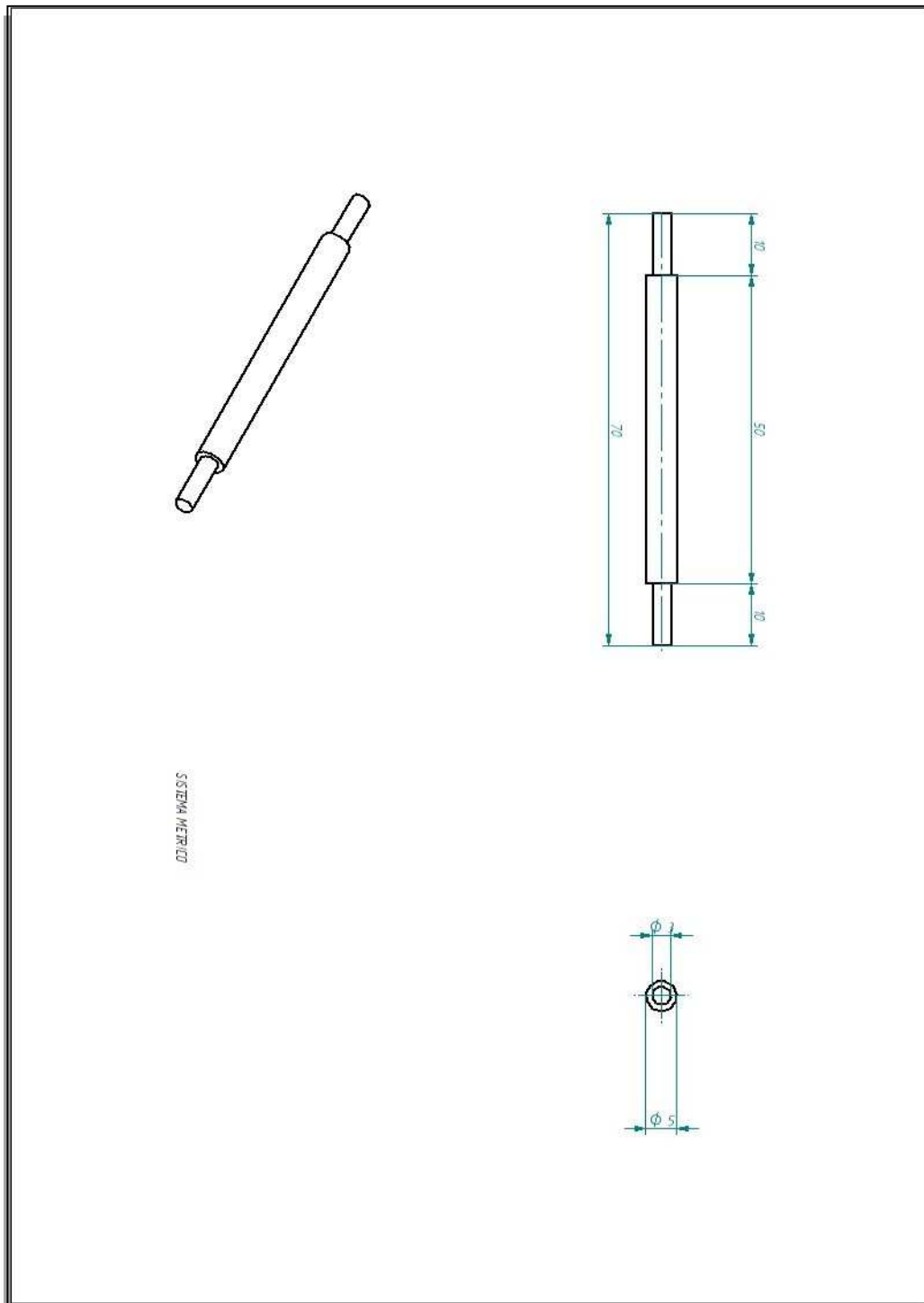


Figura 28. Eje guía del grip.

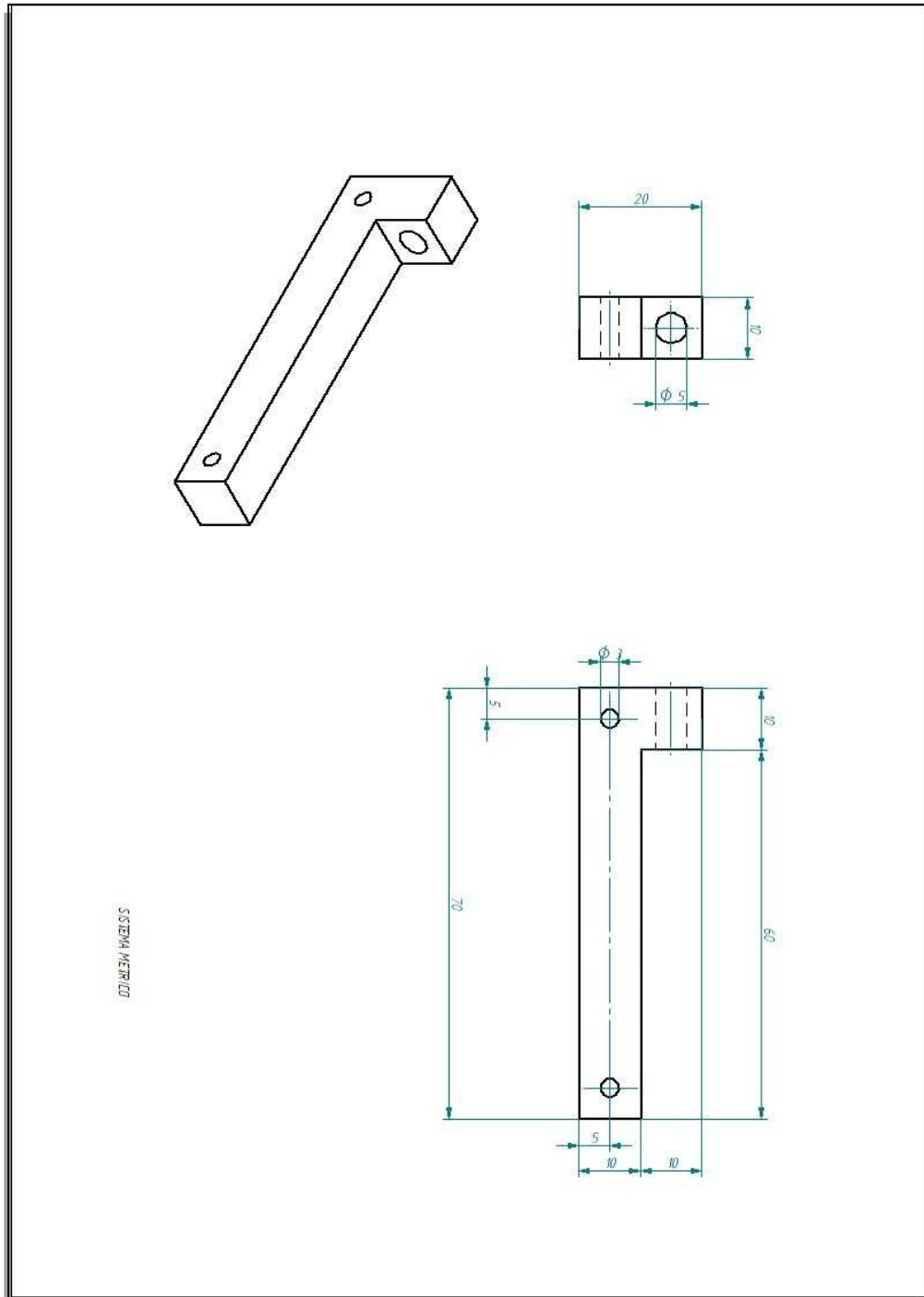


Figura 29. Soporte eje del grip.

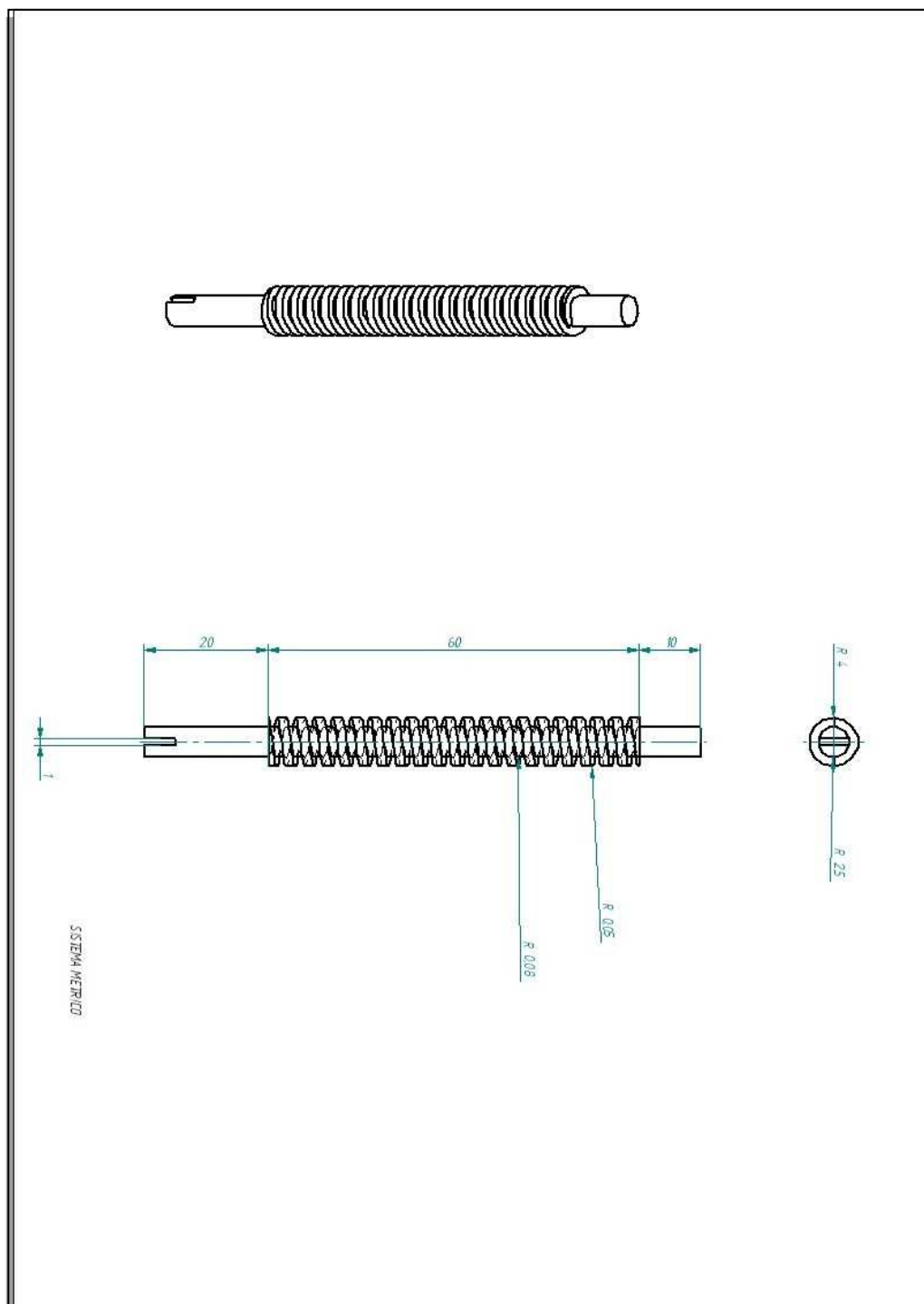


Figura 30. Tornillo sinfin que permitirá el desplazamiento del grip.

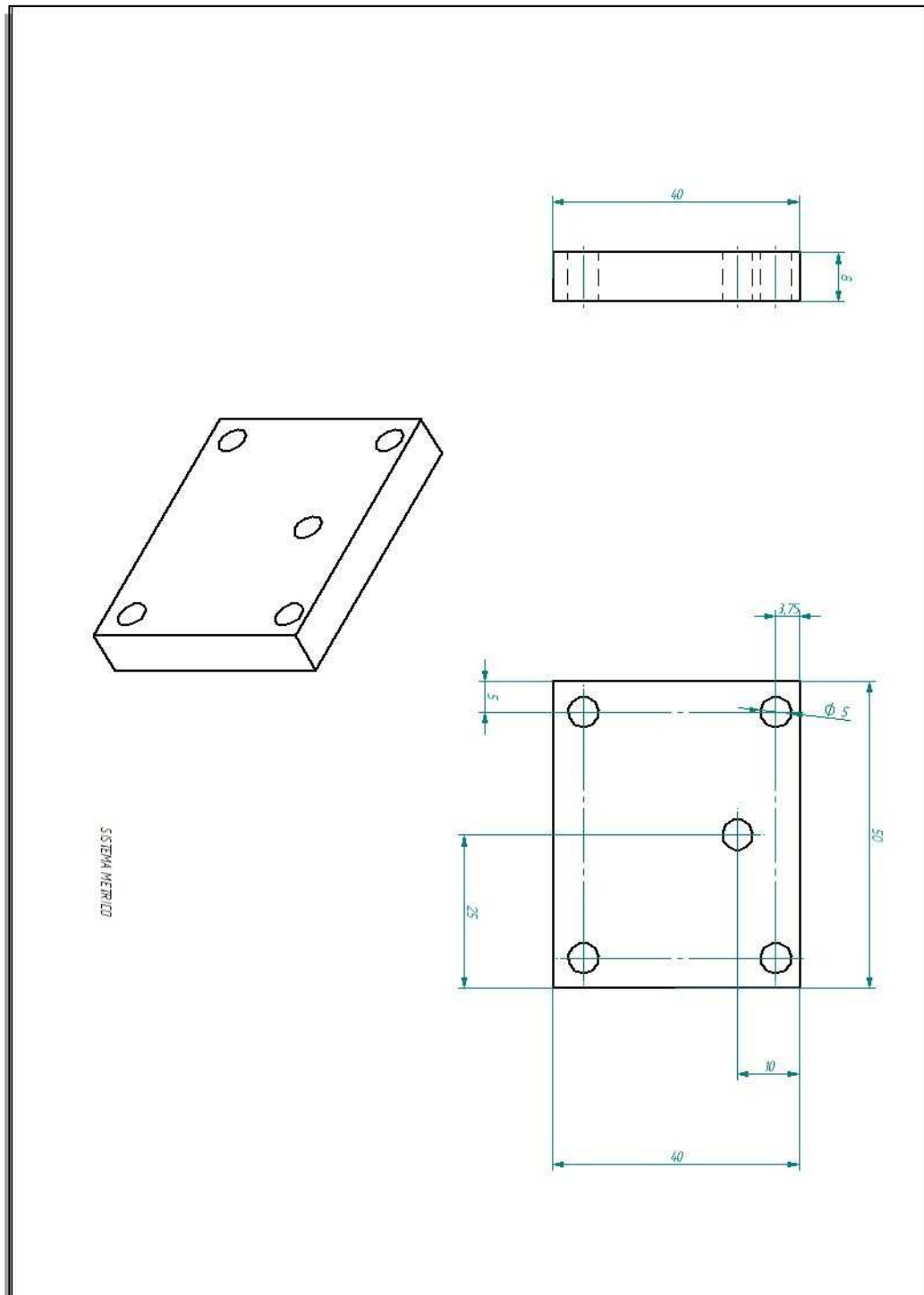


Figura 31. Soporte 2 para el tornillo sinfín.

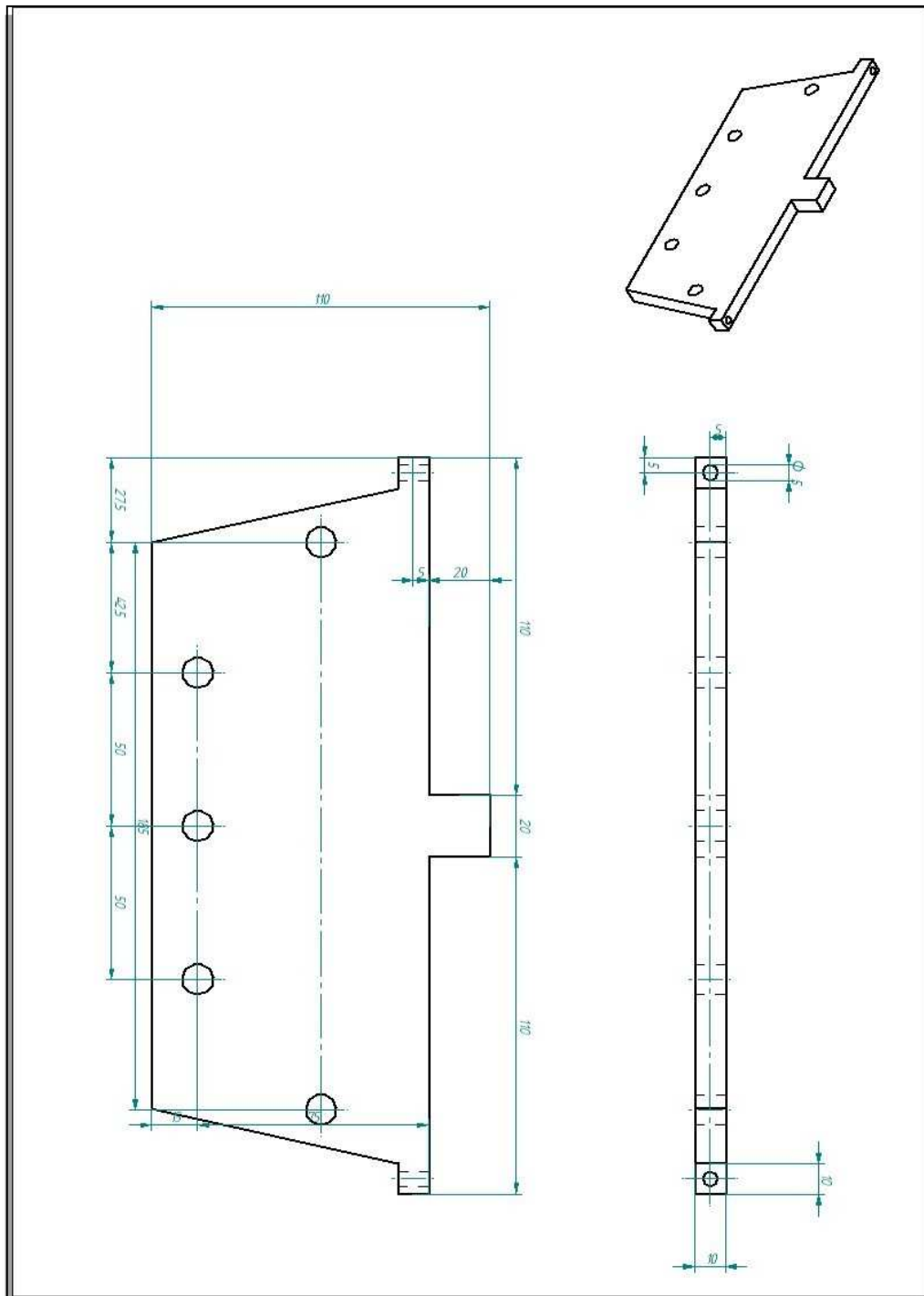


Figura 32. Soporte para el sistema de oruga.

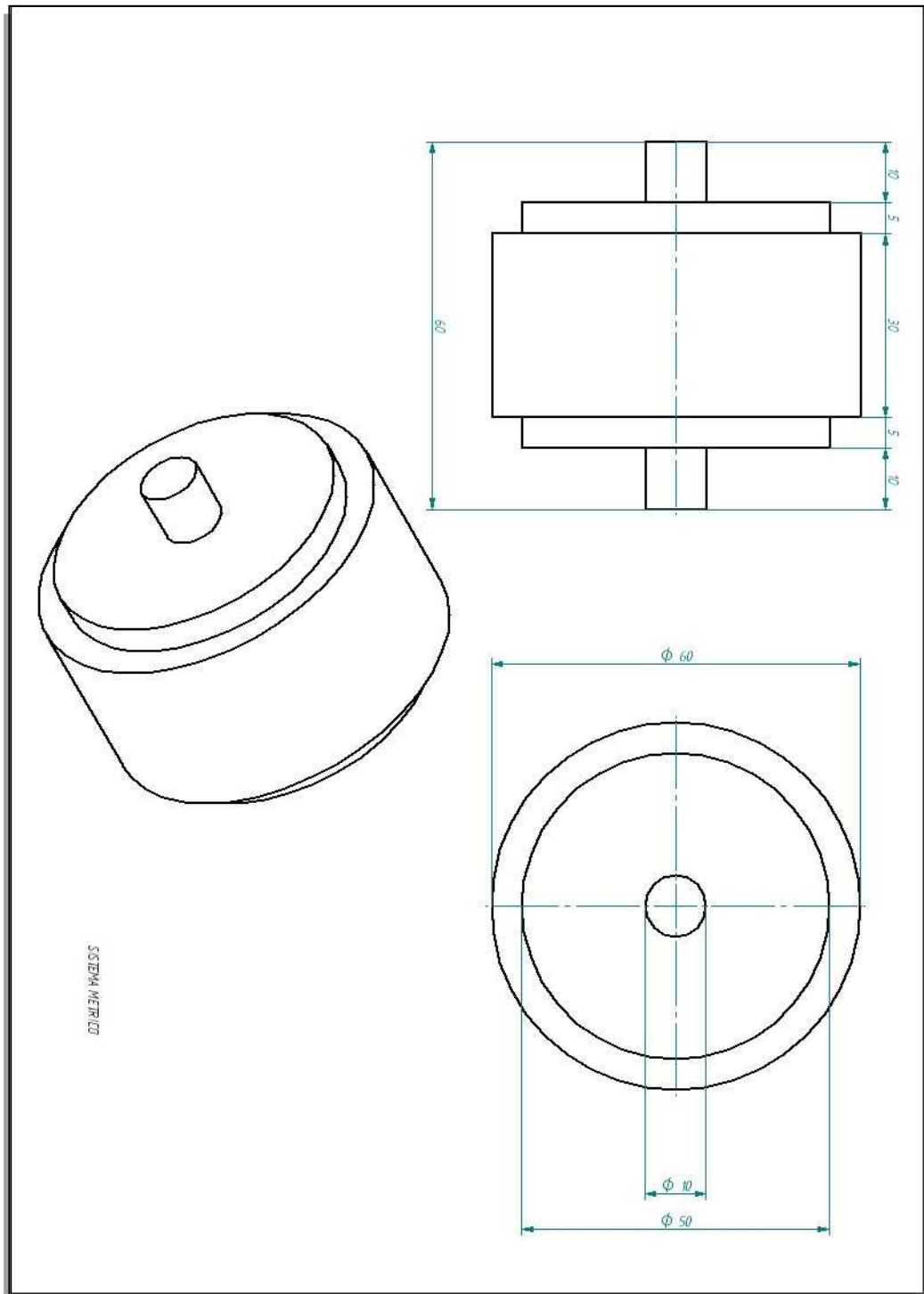


Figura 33. Polea grande del sistema de oruga.

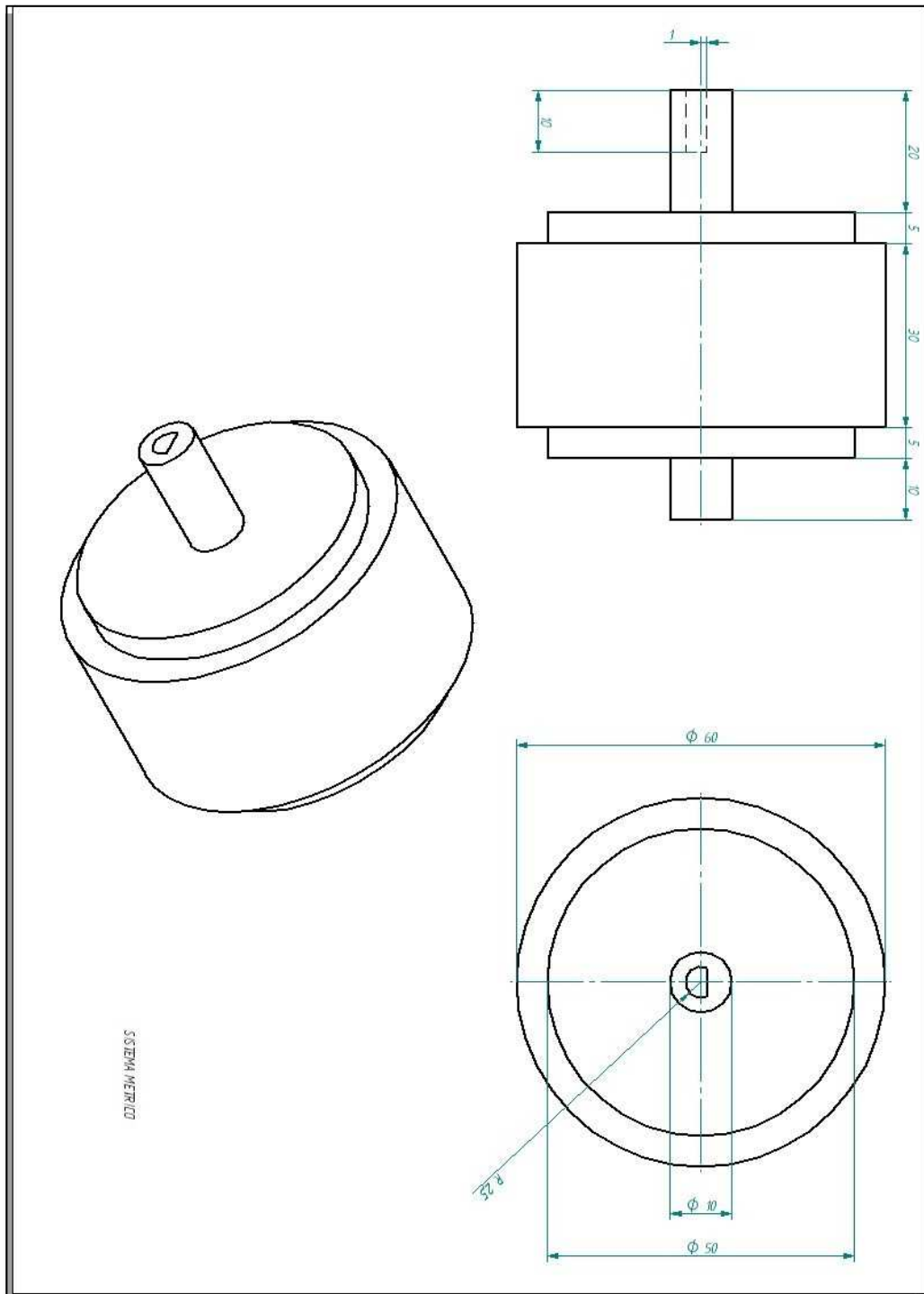


Figura 34. Polea en la que encajaran los motores del sistema de oruga.

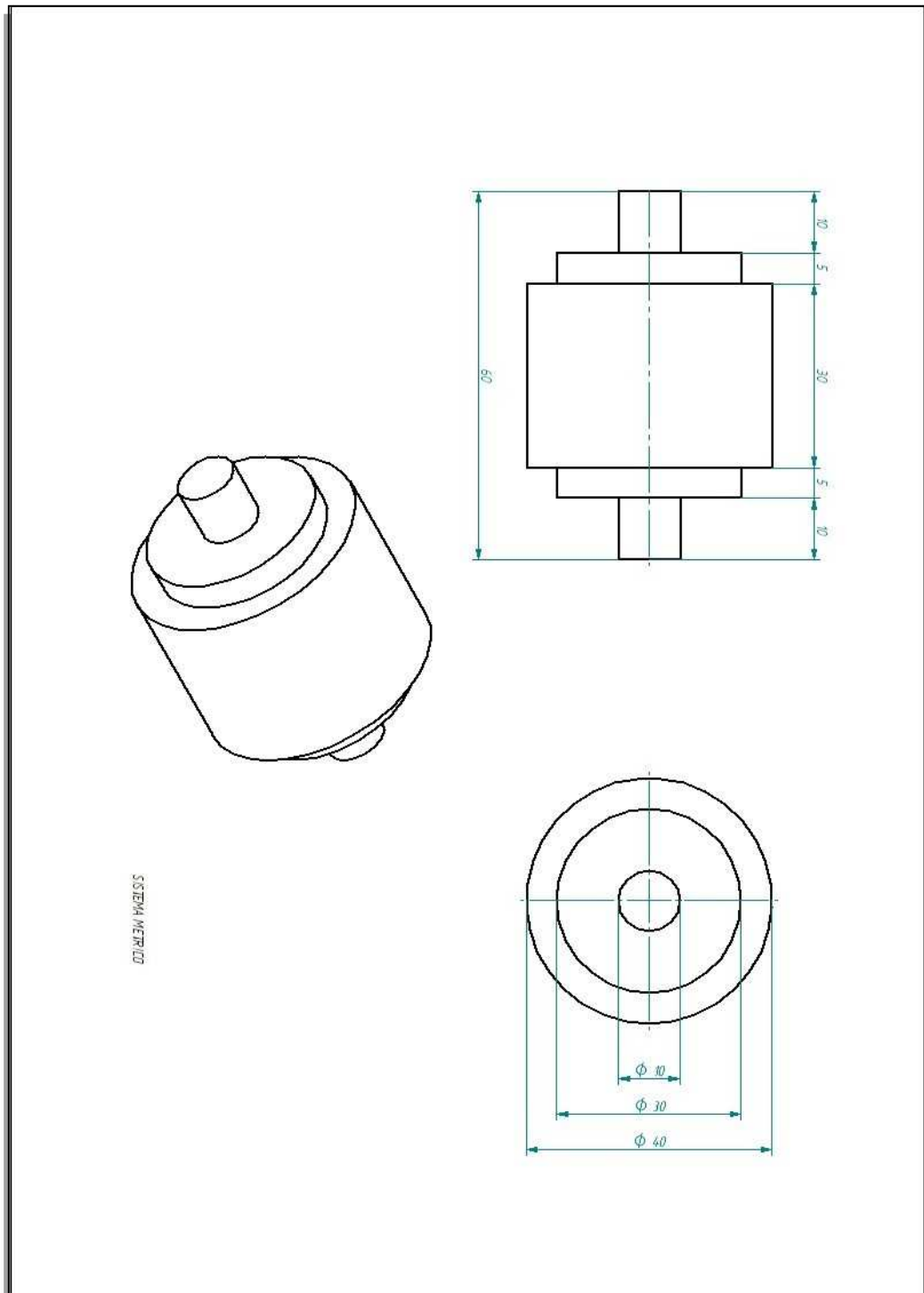


Figura 35. Polea pequeña del sistema de oruga.

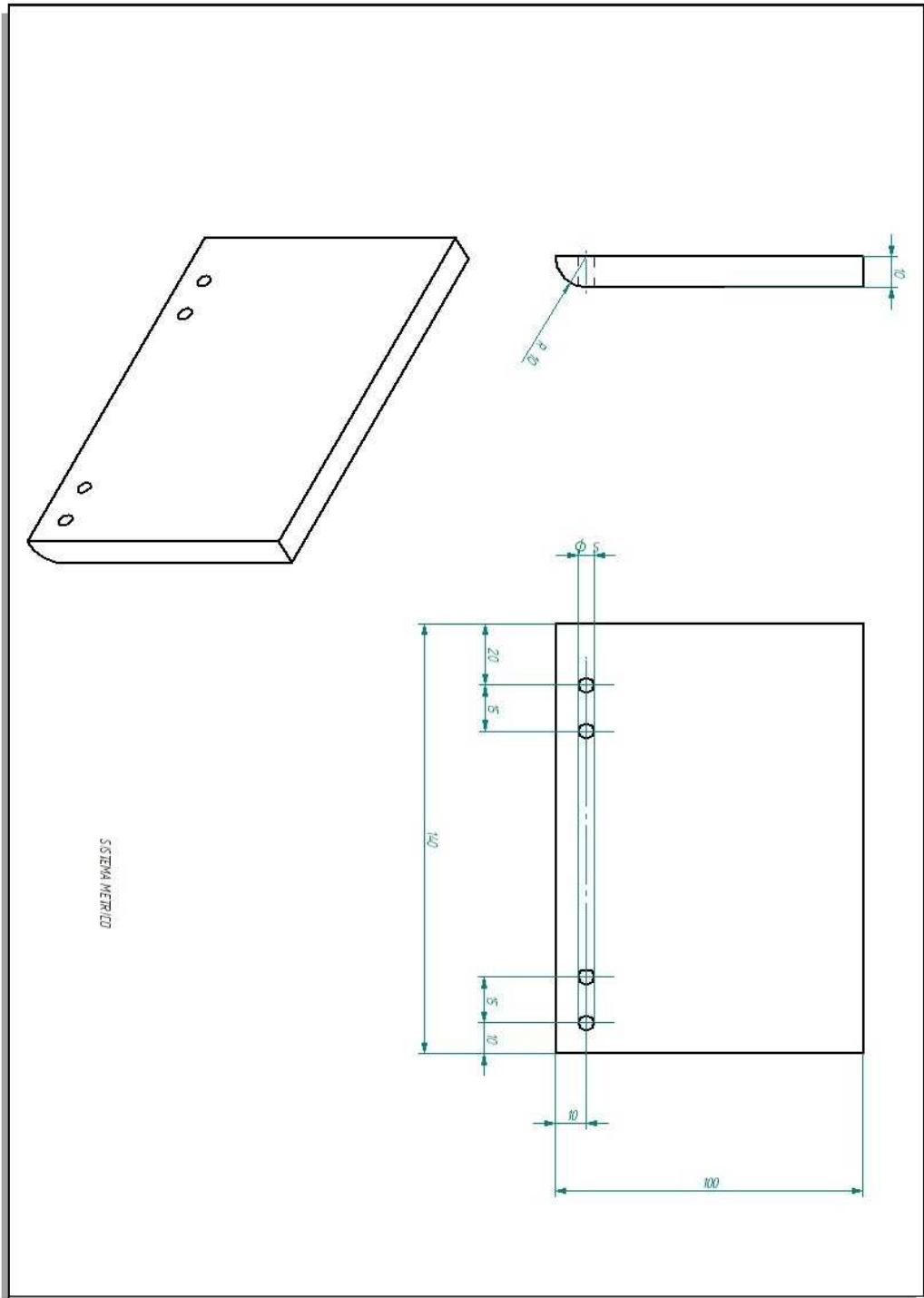


Figura 36. Tapa del contenedor de pelotas.

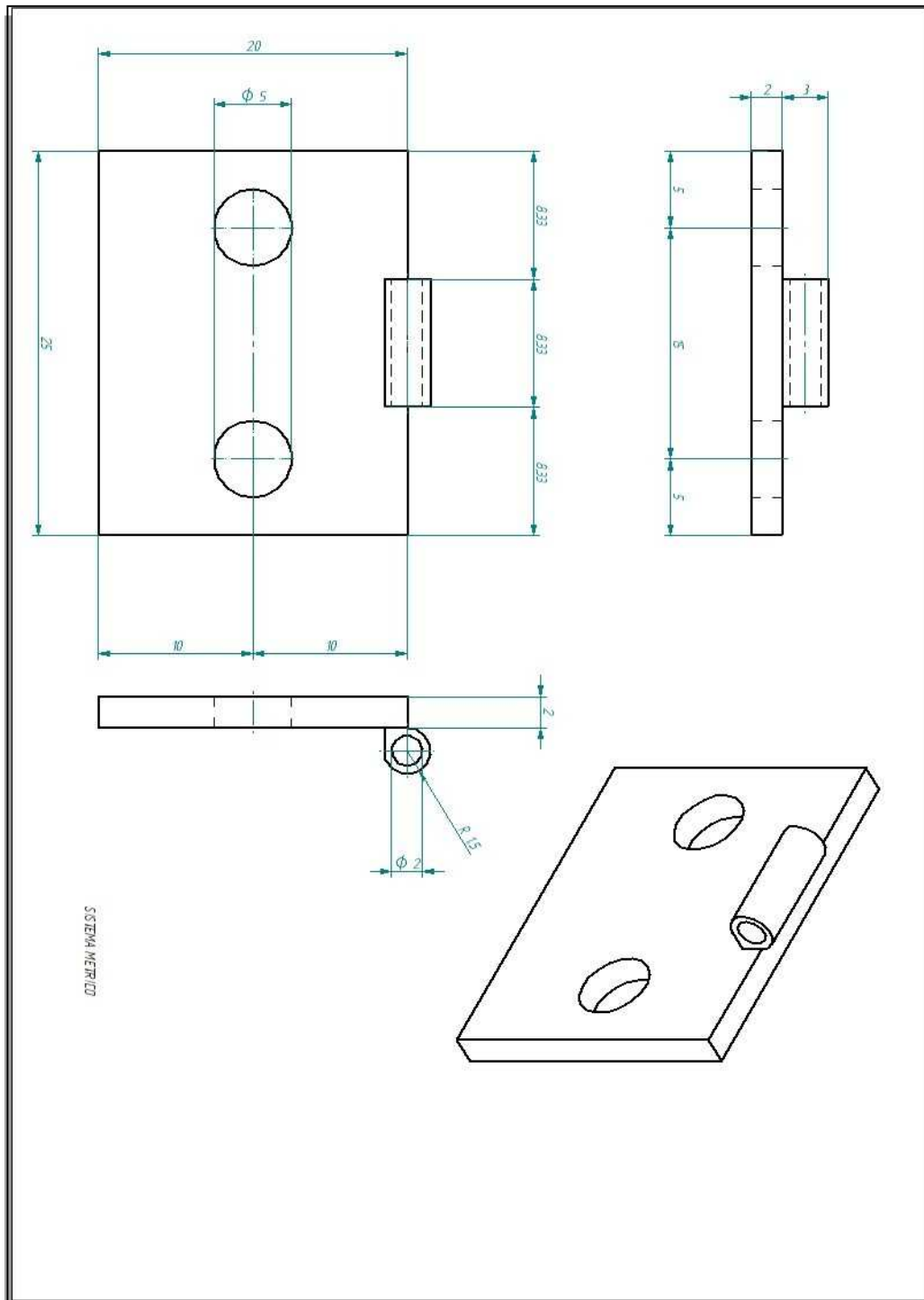


Figura 37. Parte A de la bisagra de la tapa del contenedor.

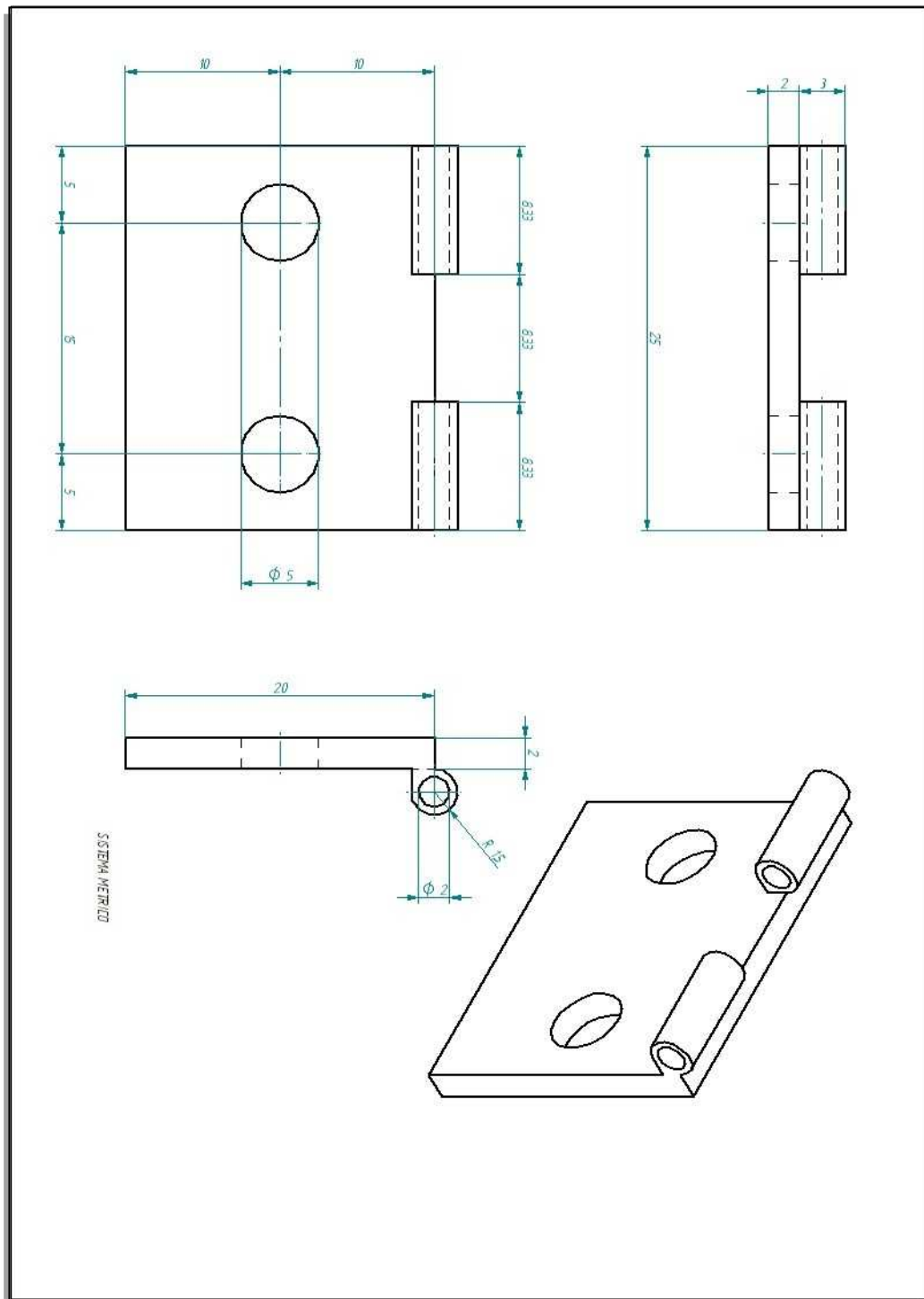


Figura 38. Parte B de la bisagra de la tapa del contenedor.

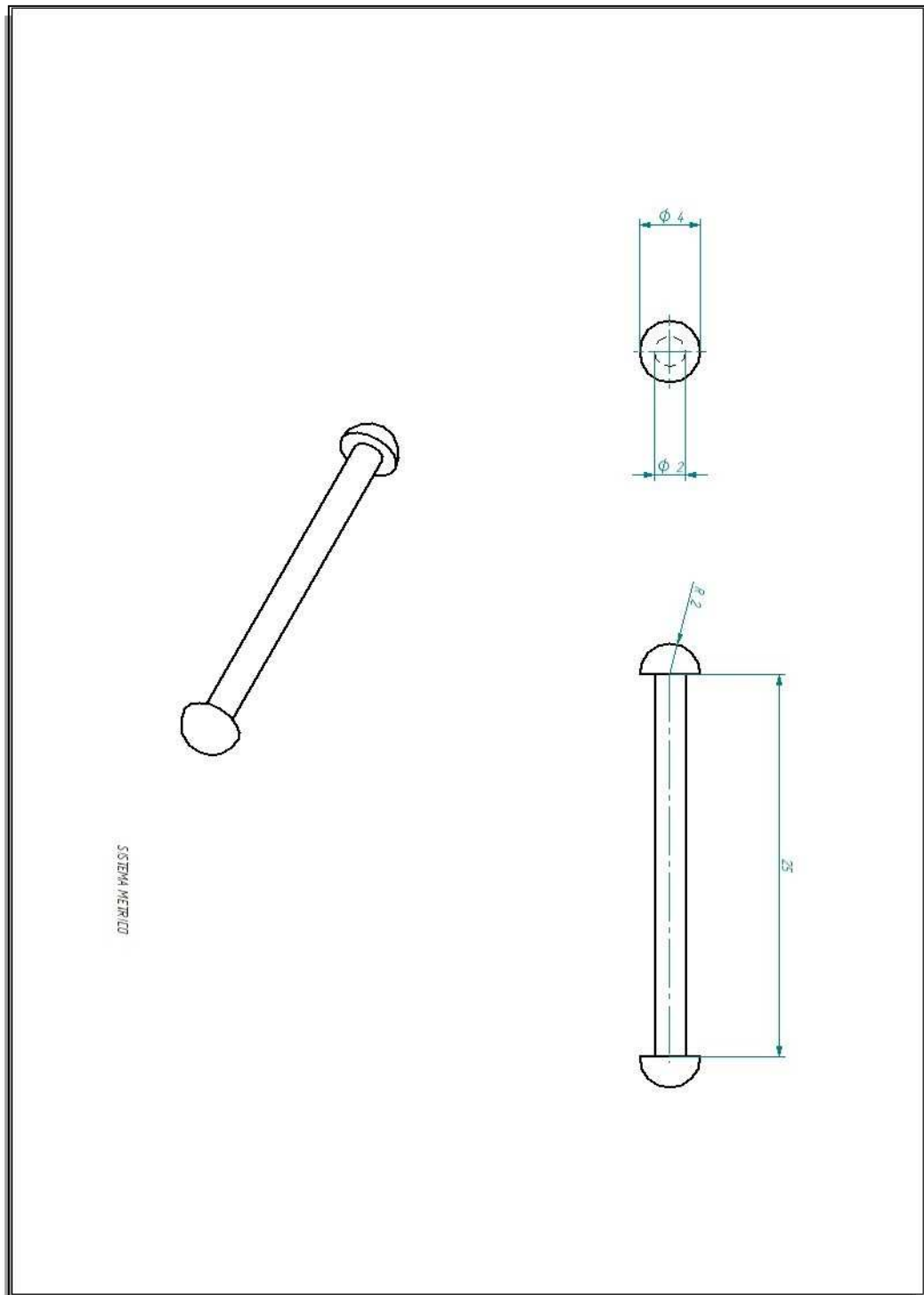


Figura 39. Eje de la bisagra de la tapa del contenedor.

6.3.2 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico es la parte más importante, es el encargado de todos los movimientos del recolector de café, mediante su funcionamiento al momento del proceso de recolección. El sistema de control se divide de la siguiente manera:

CONTROL PRINCIPAL

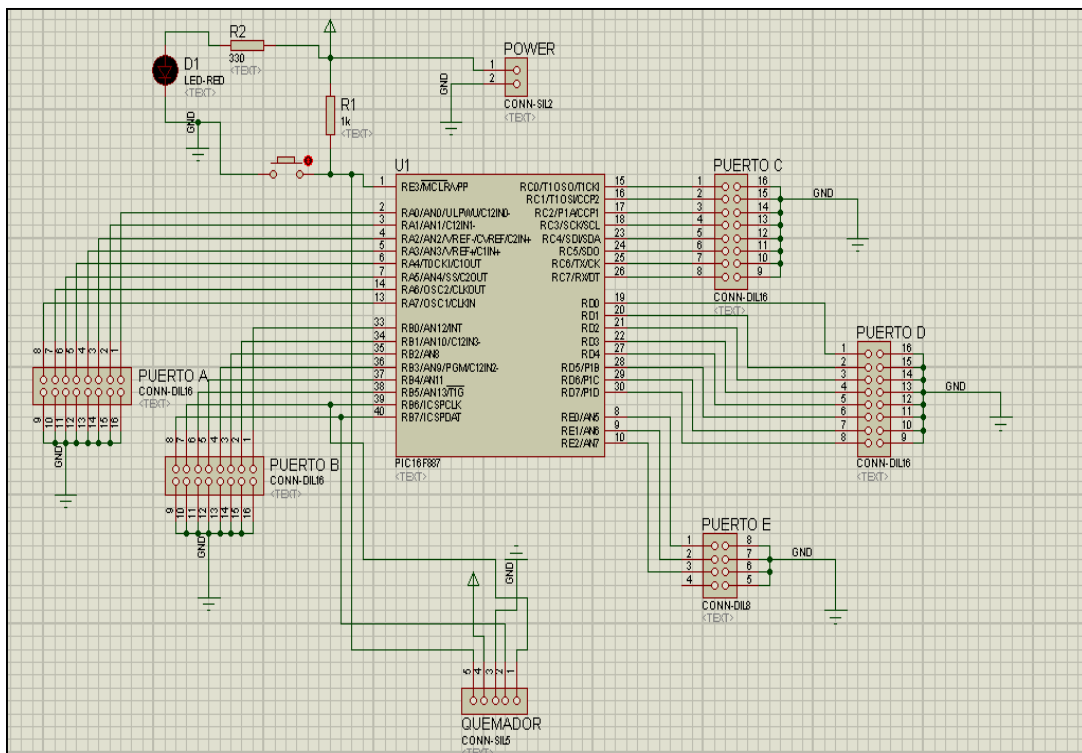


Figura 40. Plano eléctrico del microcontrolador.

El sistema de control principal hace referencia a su nombre, es el encargado de toda la parte de control para dicho robot, en este se encuentra ubicado el microcontrolador, el cual es el encargado de controlar toda la navegación del robot sobre la plataforma, evitando chocar, salirse del perímetro o caer a las albercas.

Un segundo circuito igual a este se encargara de controlar el movimiento del brazo y de la selección de los frutos en los arboles; de esta forma se optimizara el tiempo de selección de los frutos al trabajar de forma independiente los procesos de desplazamiento y recolección. Dicho plano consta de:

- 1 microcontrolador pic16f887
- 1 pulsador
- 1 resistencia 1k
- 1 resistencia 330
- 1 led
- Y las respectivas borneras

POTENCIA

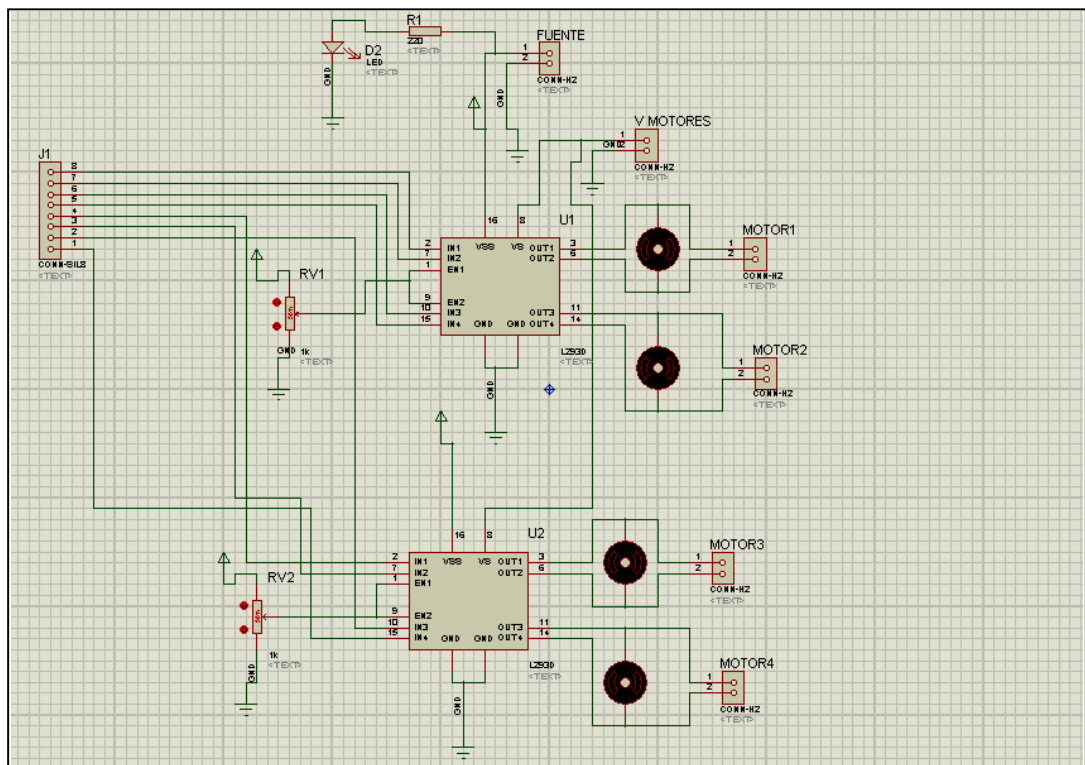


Figura 41. Plano eléctrico de potencia.

En el sistema de potencia se controlaran los dos motores designados para el desplazamiento los cuales son unos motorreductores a cada lado del sistema de tracción el cual serán unos rodillos con una banda dentada simulando un sistema de tracción con orugas. El circuito consta de los siguientes componentes:

- 2 potenciómetros 10k
- 2 puente h integrados ls293d
- 1 resistencia 220
- 1 led
- Y las respectivas borneras

AMPLIFICACION

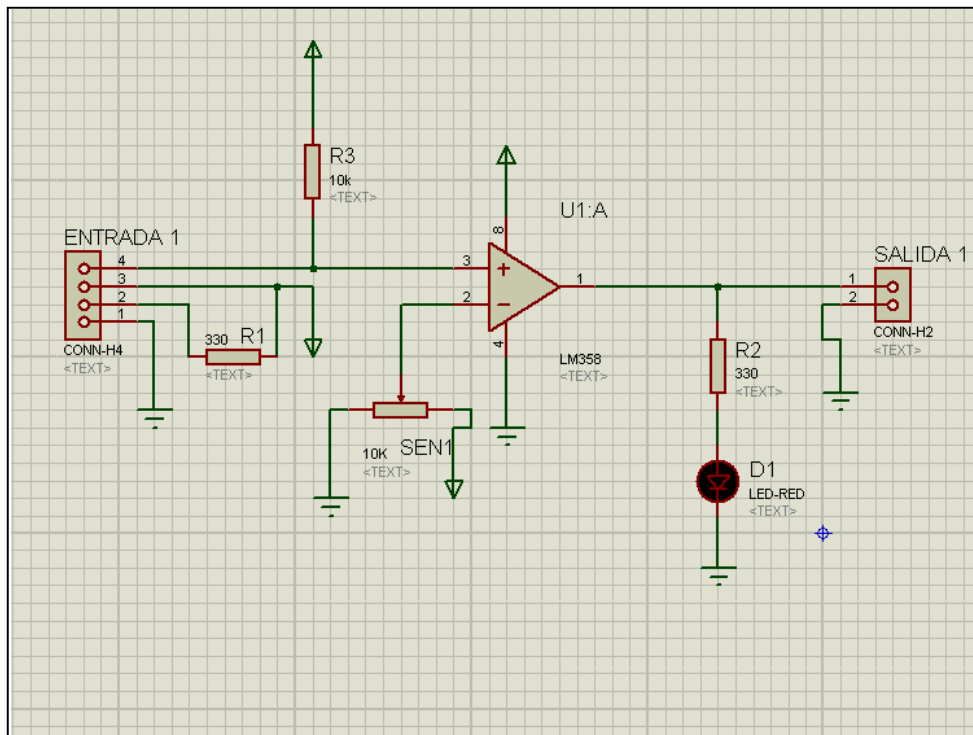


Figura 42. Plano eléctrico de amplificación.

En el sistema de amplificación se usan los amplificadores operacionales para elevar el voltaje de los sensores cny70 para su posterior envío al circuito de control después del censado. Se usara uno por cada sensor en dicho caso serán 8 sensores para la parte del movimiento con el motivo de prevenir desplazamientos del vehículo no deseados o que esto ocasione que el vehículo se salga de los límites o entre en las zonas prohibidas. Dicho plano consta de:

- 1 amplificador operacional lm386
- 2 resistencias 330
- 2 resistencias 10k
- 1 trimmer 10k
- 1 led
- Y sus respectivas borneras

Aparte de los componentes ya mencionados, también se cuenta con los periféricos los cuales son:

- 2 motorreductores
- 2 servomotores
- 1 motor DC
- 11 CNY70
- 1 sensor de larga distancia autoreflex

El diseño de los circuitos impresos quedara distribuido de la siguiente manera:

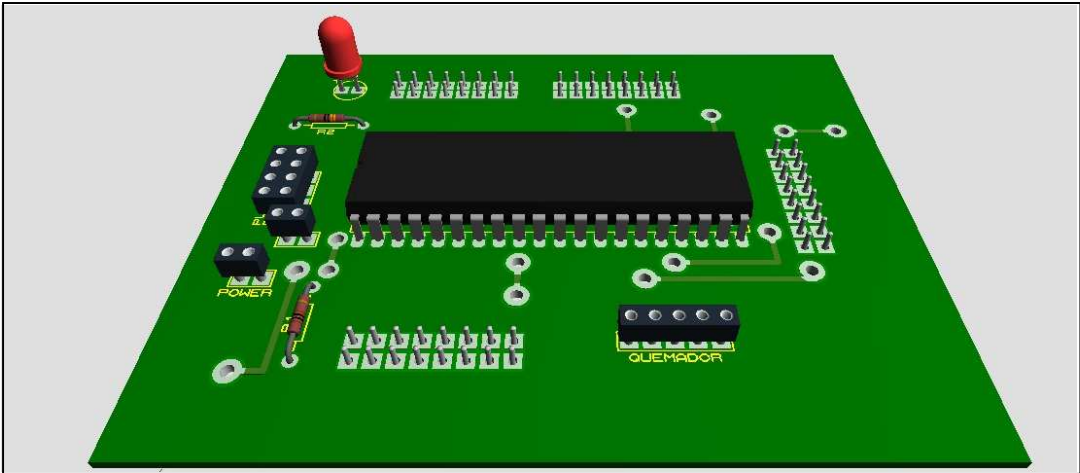


Figura 43. Impreso circuito control.

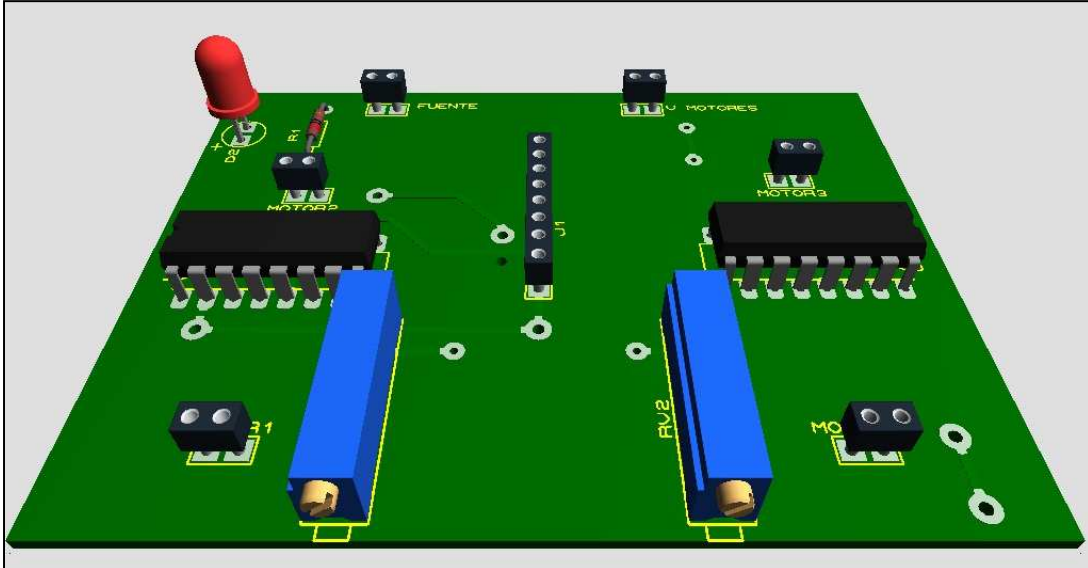


Figura 44. Impreso circuito de potencia.

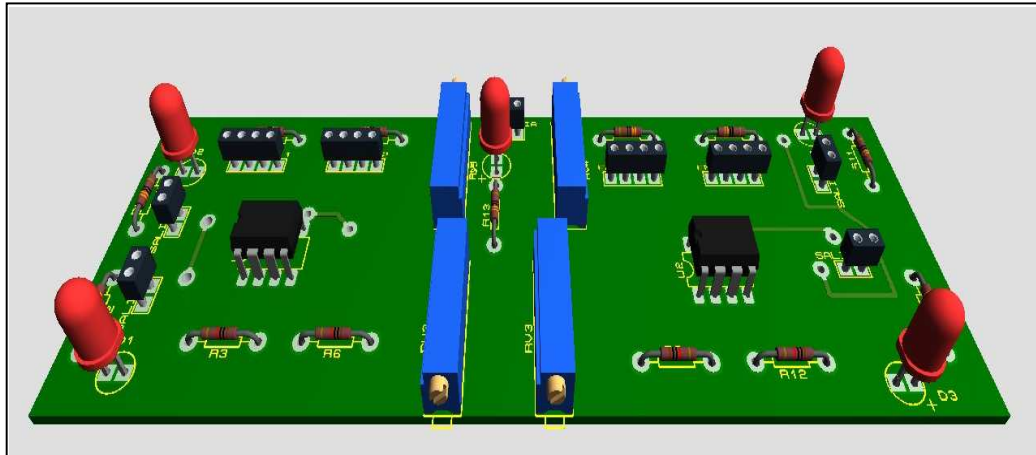


Figura 45. Impreso circuito amplificación.

6.4 SOFTWARE

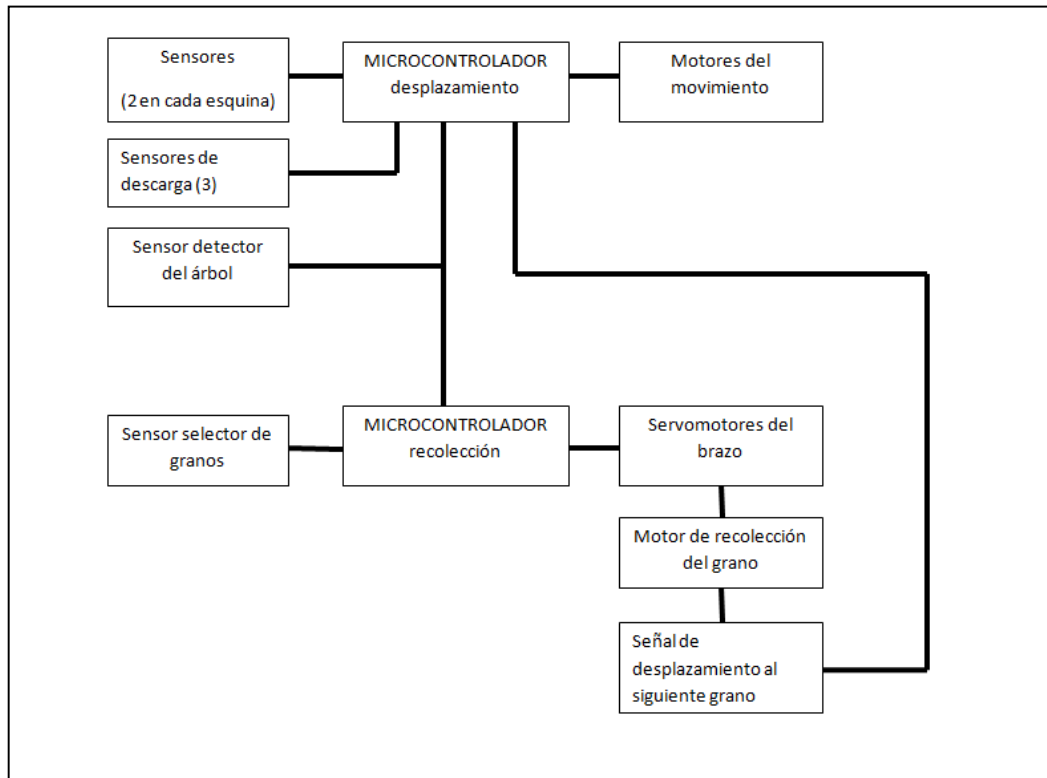


Figura 46. Cuadro de bloques del software de control.

El software del sistema se dispuso bajo el lenguaje de programación c en el software "PIC-C ". Se implementaron las librerías del PWM para el control de los servomotores.

Se usa el reloj interno del microcontrolador y se implemento la técnica de programación por medio de funciones para optimizar el código, de esta forma evitar repetir fragmentos de códigos para realizar tareas similares.

Se implementaran 11 entradas para los sensores cny70, una entrada análoga para el sensor de largo alcance y así determinar el color de cada fruto, 4 salidas para los 2 motores de movimiento, dos salidas del PWM para los servomotores y otras dos salidas para el motor que recoge los frutos.

La distribución de los sensores de movimiento va de la siguiente forma:

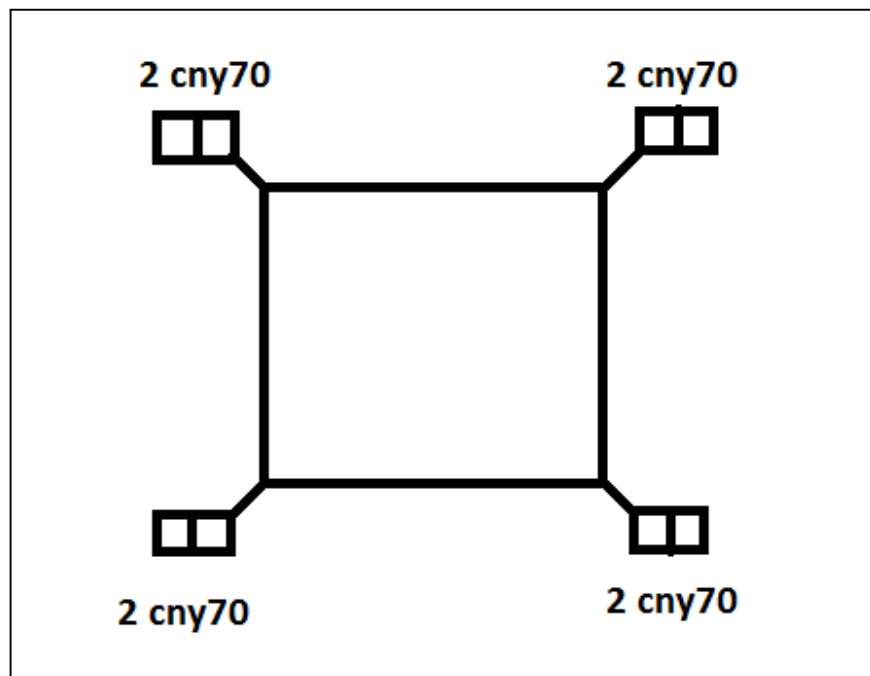


Figura 47. Distribución de los sensores de desplazamiento.

Se implementaron dos sensores a cada extremo del dispositivo móvil, de esta forma se puede garantizar que el vehículo no se descarrile debido a que este no puede pisar las líneas externas de la pista en ningún momento de su labor de recolección.

La programación consta de una serie de funciones, entre las más importantes están: las funciones de desplazamiento, los giros hacia la derecha y la izquierda, la salida del beneficiadero y la de recolección de los frutos; donde se implementaron un sinfín de secuencias lógicas. Se planeo la siguiente secuencia para la recolección teniendo en cuenta que primero se realiza la recolección de los frutos maduros y se hace su respectiva deposición; después de esto se lleva a cabo la recolección de los frutos sobre maduros y de su respectiva deposición para culminar la secuencia en el mismo punto donde inicio el vehículo en el beneficiadero.

Así mismo, se está realizando un conteo de cuantos frutos se van almacenando en el vehículo, de esta forma determinar si es momento de ir a depositar los frutos para seguir con la recolección, y así evitar que el depósito se llene y pueda causar problemas o daños en el dispositivo.

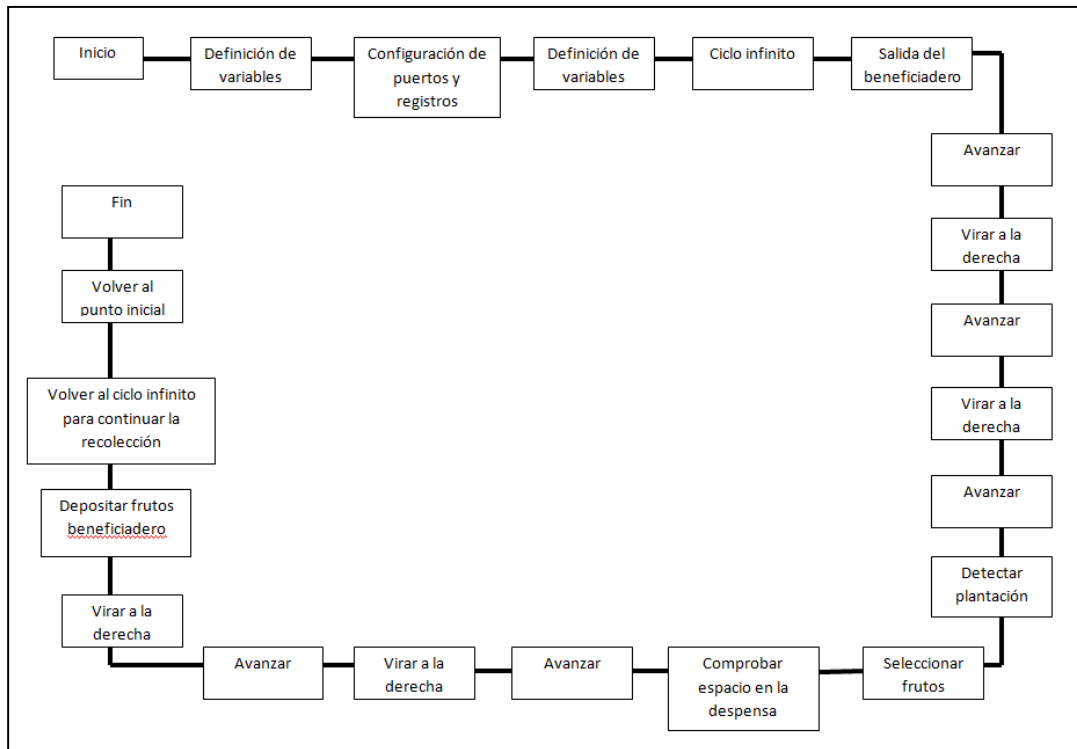


Figura 48. Diagrama de bloques de la programación.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo y culminación del proyecto se quiere hacer énfasis en la importancia que representa las ciencias que componen la Mecatrónica, brindando la posibilidad de proporcionar avances tecnológicos enfocados a la solución de problemas a nivel de la robótica.

El uso de la informática y de otras tecnologías como la robótica, con una visión constructorista, no sólo puede, sino que debe iniciarse en etapas tempranas del desarrollo intelectual de los infantes para aprovechar todas sus ventajas. El aprendizaje de la robótica, implica el uso y apoyo de distintos recursos tecnológicos y didácticos, así como de estrategias pedagógicas que permitan un aprendizaje significativo, interactivo y autodidacta.

Se espera ahora que con la culminación del desarrollo de este diseño la Institución Universitaria Pascual Bravo logré un avance tecnológico importante, además de asistir a eventos nacionales e internacionales demostrando una vez más la calidad en sus programas Y brindando a sus futuros graduados oportunidades de obtener mayores conocimientos y ventajas para el desarrollo de sus conocimientos con relación a su formación académica.

BIBLIOGRAFÍA

- Blog dedicado a la robótica pedagógica como una oportunidad para ampliar los conocimientos y la calidad de la educación
"http://pernoc.blogspot.com/2007/03/robtica-pedaggica.html"
- BROOKS, Rodney. (1991) Intelligence without representation, Artificial Intelligence 47, MIT Artificial Intelligence Laboratory. 139-159.
- BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, J.KEITH. DISEÑO E INGENIERIA MECANICA DE SHIGLEY, octava edición. Ed. Mc Graw Hill.
- Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Mitigación) – Colombia
"http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/CAMBIOCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2DocdiscusionAgriculturayMitigacionColombia.pdf"
- ESQUENBRE, F. (2004). Creación de simulaciones Interactivas en JAVA. Madrid, Ed. PrenticeHall.
- RASHID MUHAMMAD H. (1995). ELECTRONICA DE POTENCIA, CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES, segunda edición. México, Ed. PRENTICE HALL HISPANOAMERICA, S.A. ISBN 968-880-586-6.
- REYES, CARLOS A. (2008). Microcontroladores PIC Programación en Basic, tercera edición. QUITO, ECUADOR, Ed. RISPGRAF. ISBN-10: 9978-45-004-1, ISBN-13: 978-9978-45-004-8.
- Universitaria de investigación y desarrollo, <http://www.udi.edu.co>