

**DISEÑO DE UN ROBOT DIDÁCTICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA
ROBÓTICA EN NIÑOS**

PAULO ANDRÉS MANTILLA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2005**

**DISEÑO DE UN ROBOT DIDÁCTICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA
ROBÓTICA EN NIÑOS**

PAULO ANDRÉS MANTILLA GONZÁLEZ

**Proyecto para optar al título de
Magíster en Ingeniería Mecánica**

**Asesor
Carlos Francisco Rodríguez
Ph. D. Ingeniería Mecánica**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2005**

Bogotá D.C., 26 de Julio de 2005

Doctor
Álvaro Pinilla
Director Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de los Andes
Ciudad

Reciba un cordial saludo.

Presento a usted el informe de la tesis de grado “DISEÑO DE UN ROBOT DIDÁCTICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA ROBÓTICA EN NIÑOS” elaborado por Paulo Andrés Mantilla González, como requisito parcial para optar por el título de Magíster en Ingeniería Mecánica.

Cordialmente,

Carlos Francisco Rodríguez
Asesor

Bogotá D.C., 26 de Julio de 2005

Doctor
Álvaro Pinilla
Director Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de los Andes
Ciudad

Reciba un cordial saludo.

Presento a usted el informe de la tesis de grado “DISEÑO DE UN ROBOT DIDÁCTICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA ROBÓTICA EN NIÑOS”, como requisito parcial para optar por el título de Magíster en Ingeniería Mecánica.

Cordialmente,

Paulo Andrés Mantilla González

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Descripción	10
1.2. Objetivos	11
2. MARCO DE REFERENCIA	12
2.1 Robots _[m1]	12
2.2 Robots	14
	Educativos _[m2]
2.3 Locomoción en Robots Móviles	18
2.4 Reconfigurabilidad y Modularidad	20
2.4.1 Definición	20
2.4.2 Teoría de Modelos Reconfigurables	25
2.4.3 Mediciones de la Reconfigurabilidad	27
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT	29
3.1 Diseño	29
	del robot _[m3]
3.2 Representación Modular	36
3.3 Reconfigurabilidad	43
4. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Lego Mindstorms®. Piezas incluidas	12
Figura 2. Robot que viene para construirlo	13
Figura 3. Propuesta Metodológica	14
Figura 4. Basic Stamp 2®	14
Figura 5. Bigfoot	15
Figura 6. Linx 5	16
Figura 7. Rogue Blue	16
Figura 8. Tipos de locomoción	18
Figura 9. Vistas Rueda Standard	19
Figura 10. Vistas rueda loca	20
Figura 11. Modularidad y reconfigurabilidad	21
Figura 12. Relación Piezas vs. Unidades-modulares	21
Figura 13. Active chord mechanism, Robot serpiente	23
Figura 14. Manipulador CEBOT	24
Figura 15. . Acotación del robot	24
Figura 16. Port-based modelo de un sistema reconfigurable en ingeniería	26
Figura 17. Modelo de sistema reconfigurable	27
Figura 18. Dibujo realizado por niños en Maloka	30
Figura 19. Dibujo realizado por niños en Maloka	31
Figura 20. Arreglo geométrico tipo triciclo	32
Figura 21. Arreglo geométrico tipo diferencial	32
Figura 22. Arreglo geométrico tracción y dirección independientes	33
Figura 23. Variables cinemáticas del arreglo tipo triciclo	33
Figura 24. Variables cinemáticas del arreglo diferencial	35
Figura 25. Módulo Locomoción	38
Figura 26. Representación general del módulo	39
Figura 27. Representación general del módulo	41
Figura 28. Módulo Rueda Loca	41
Figura 29. Módulo Dirección	43

Figura 30 Representación gráfica Configuración Robot

44

Figura 31. Posibles configuraciones del robot

45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propuesta	13
Tabla 2. Piezas Modulo Locomoción	37
Tabla 3. Piezas Modulo Rueda Loca	40
Tabla 4. Piezas Modulo Dirección	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Plano Base Principal	51
Anexo 2. Plano Porta Sensor Interior	52
Anexo 3. Plano Porta Sensor Exterior	53
Anexo 4. Plano Tapa Porta Sensor	54
Anexo 5. Plano Eje portallanta Modulo Principal	55
Anexo 6. Plano Pieza 1 Modulo Principal	56
Anexo 7. Plano Pieza 2 Modulo Principal	57
Anexo 8. Plano Pieza 3 Modulo Principal	58
Anexo 9. Plano Pieza 4 Modulo Principal	59
Anexo 10. Plano Eje Modulo Rueda Loca	60
Anexo 11. Plano Pieza 1 Llanta Modulo Principal	61
Anexo 12. Plano Pieza 2 Llanta Modulo Principal	62
Anexo 13. Plano Pieza Base Rueda Loca	63
Anexo 14. Plano Pieza Rueda Loca Porta Rodamiento	64
Anexo 15. Plano Llanta	65
Anexo 16. Plano Servo Motor	66
Anexo 17. Plano Eje Principal	67
Anexo 18. Plano Camisa Servo Motor	68

INTRODUCCIÓN

La Robótica con fines didácticos tiene una historia reciente, fue solo hasta 1975, cuando se inició una investigación psicológica en el control automatizado de un laboratorio, aquí el niño se interrelacionaba con el laboratorio a través de una computadora y veía diferentes experiencias [1]. En la última década investigadores e industrias han propuesto kits para la construcción de robots para estimular conceptos como matemáticas, física, informática y mecánica; estos kits incluyen motores, sensores, poleas y otra serie de elementos para su construcción. Actualmente productos como LEGO Dacta, LEGO Cybermaster y LEGO Mindstorms, tienen los elementos necesarios para la construcción del prototipo que el niño requiere; estos kits desarrollados por LEGO han seguido unos principios educativos de acuerdo a las teorías de desarrollo cognitivo formuladas por Jean Piaget (1966) [2].

En Colombia se vienen desarrollando una serie de investigaciones orientadas principalmente al desarrollo estructurado de estudiantes universitarios de primeros semestres; sin embargo trabajos desarrollados en algunas universidades, como por ejemplo, el realizado por Mónica Sánchez [3] en la Universidad de los Andes, se han enfocado en desarrollos pedagógicos de niños de básica primaria y secundaria trabajando en diferentes plataformas comerciales, pero no se han centrado en el desarrollo de una plataforma que sirva de soporte a la enseñanza de la robótica.

Es por esto que este trabajo está orientado dentro de un escenario de Clubes de Ciencia y Tecnología [4], a trabajar con niños de diversas edades y en este proceso que ha durado 2 años se han investigado las necesidades de ellos respecto a cuales deben ser los temas a considerar para realizar un proceso mas franco y además si es necesario o no el tener elementos que ayuden al aprendizaje de estos temas.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción

Dado el carácter polivalente y multidisciplinario de la robótica pedagógica, ésta puede ayudar en el desarrollo e implantación de una nueva cultura tecnológica en nuestro país. Uno de los principales objetivos de la robótica pedagógica es la generación de entornos de aprendizaje basados, fundamentalmente, en la actividad de los niños. Es decir, ellos podrán concebir, desarrollar y poner en práctica diferentes robots educativos que les permitan resolver algunos problemas y les faciliten al mismo tiempo, ciertos aprendizajes.

Es por esto que el proyecto fue concebido, como ayuda al aprendizaje de esta área tecnológica fundamental hoy en día para ayudar en el proceso que los niños día a día tienen con el medio que los rodea.

La necesidad de realizar un robot modular y reconfigurable tiene que ver con la rapidez de construcción y bajo costo que conlleva realizar piezas de similares geometrías, y la ventaja que esto trae cuando se pretende enseñar con este. La modularidad tiene que ver con la capacidad del robot de hacer cambios sin muchos problemas, claro está, que dado que el objetivo del robot son niños, este debe tener la menor cantidad de piezas sueltas para de alguna manera cumplir con el objetivo de esta tesis, aunque mas adelante se sustentará el porque de esta premisa; por otra parte tenemos la reconfigurabilidad, un término complejo de definir y que conllevaría a múltiples respuestas pero en esta tesis se centrará en la capacidad del robot de realizar cambios que como consecuencia de esto, este tendrá la posibilidad de modificar algunas variables físicas.

1.2 Objetivo general

Diseñar una plataforma para aprendizaje, que soporte la enseñanza de la Robótica para:

- Facilitar la integración de áreas.
- Mantener la motivación para lograr un aprendizaje efectivo.

1.3 Objetivos específicos

- Tratar de realizar el robot con ayuda de algunas teorías de reconfigurabilidad y modularidad.
- El robot debe hacerse con materiales y máquinas de fácil acceso.
- El robot debe obedecer a los principios de flexibilidad, confiabilidad y reproducibilidad.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Robots

Actualmente en el mundo, hay sin lugar a dudas muchos fabricantes de robots; estos tienen características diferentes, por ejemplo existen los kits flexibles como Lego, que lo basa en la cantidad de piezas y esto conlleva a realizar una cantidad ilimitada de geometrías, aunque la cantidad de piezas puede ser un factor importante y llamativo a la hora de adquirirlo, puede no serlo a la hora de ensamblarlo por lo demorado que puede llegar a ser su ensamble.



Figura 1. Lego Mindstorms®. Piezas incluidas

Por otra parte en el mercado existen robots educativos o didácticos¹ que son rígidos en su estructura geométrica, aunque la confiabilidad de estos es mas alta, limitan la posibilidad de que los niños puedan manipular y modificar sus robots.

¹ Diferencia limitada a la bibliografía encontrada en los textos relacionados.



Figura 2. Robot que viene para construirlo.

Teniendo en cuenta estas diferencias soportadas por el mercado, en este proyecto se intentará delimitar el robot en una línea donde no caiga en ninguna de estas tendencias.

	Ventajas	Desventajas
Flexibles	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración del robot que el niño desea realizar. • Posibilidad de adquirir nuevas piezas para mejorarlo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de piezas se puede convertir en una incomodidad debido a que el proceso de ensamble es largo.
Rígidos	<ul style="list-style-type: none"> • El niño no tendrá problemas con piezas sueltas que puedan perderse. • Tiene mayor confiabilidad debido a que las piezas vienen muy bien sujetas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Imposibilidad de realizar modificaciones. • No genera asombro ni motivación en el niño.

Tabla 1. Propuesta

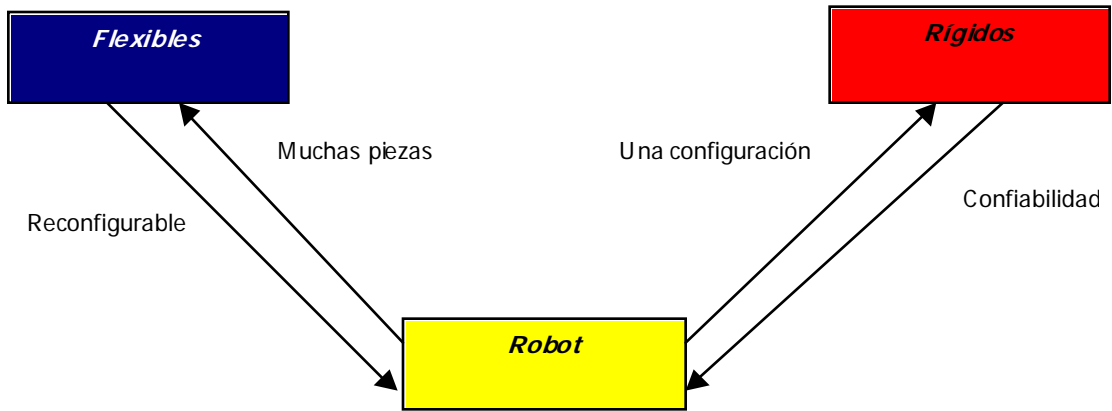


Figura 3. Propuesta Metodológica

2.2 Robots Educativos

2.2.1 Basic Stamp 2

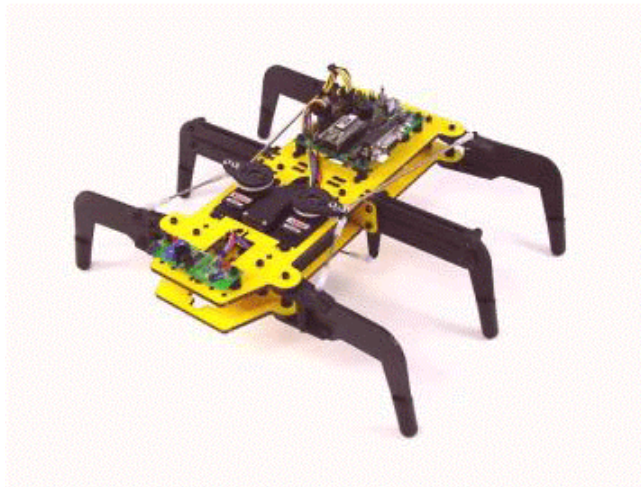


Figura 4. Basic Stamp 2®

Este robot incluye una batería de 7.2V y su cargador. Puede ser programado para que trabaje sin necesidad de tenerlo conectado al PC. Viene con varios programas de ejemplo. Este kit incluye además: Cable de alimentación, sensor de proximidad, 2 servos para la locomoción y su velocidad final es de 8 pulgadas por segundo.

2.2.2 Bigfoot



Figura 5. Bigfoot

Un robot hecho de Madera con 2 patas. Este usa 2 servos robótica para la operación de adelante, atrás, izquierda y derecha. Uno de los servos transfiere el peso de lado a lado y el otro mueve las patas. Tiene unos sensores en las patas para detectar obstáculos, también incluye 4 baterías AA, software para la programación.

2.2.3 Manipulador Linx 5

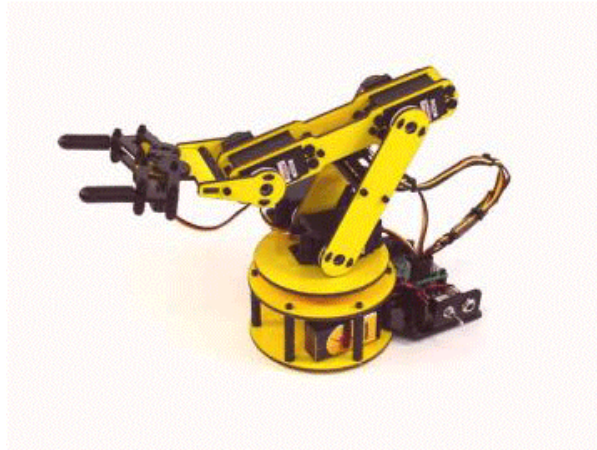


Figura 6. Linx 5

Este manipulador viene con un programa listo, aunque viene con un software para ubicar espacialmente el gripper. El brazo obtiene movimientos rápidos, exactos y repetitivos. Este tiene una base rotativa, además tiene movimientos en el hombro, codo y muñeca, y al final tiene un gripper.

2.2.4 Kit Rogue Blue



Figura 7. Rogue Blue

Este es un robot modular construido con partes de aluminio, utilizando maquinas herramientas de precisión para obtener una mayor durabilidad y una mejor apariencia.

2.3 Locomoción en robots móviles

La locomoción tiene que ver con la interacción física entre el vehículo y su ambiente, además con las fuerzas que interactúan, los mecanismos y robóticas que intervienen. Cuando se va a diseñar un objeto que se va a mover, se tienen que tener en cuenta los siguientes parámetros:

Estabilidad

- ❖ *Número de puntos de contacto*
- ❖ *Centro de gravedad*
- ❖ *Estabilización estática/dinámica*
- ❖ *Inclinación del terreno*

Características de contacto

- ❖ *Puntos de contacto ó área de contacto*
- ❖ *Angulo de contacto*
- ❖ *Fricción*

Tipo de ambiente a trabajar

- ❖ *Estructura*
- ❖ *Medio (agua, aire, tierra)*

En robótica como en muchas áreas de la ciencia la naturaleza es la principal inspiración para los ingenieros y científicos, referente a la locomoción, la naturaleza tiene un número bastante alto de clases, sin lugar a duda este parámetro es muy importante para diseñar el robot, en el siguiente cuadro se hará mostrarán los principales tipos de locomoción que se encuentran en la naturaleza:




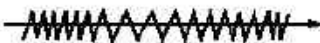

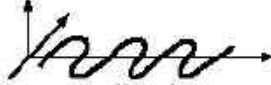
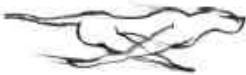
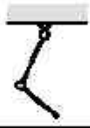

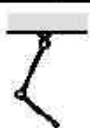


Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Figura 8. Tipos de locomoción

Móviles con ruedas

Las ventajas que se tiene al trabajar un robot móvil con ruedas son:

- Las ruedas son la más apropiada solución para la mayoría de aplicaciones.
- Tres ruedas son suficientes para garantizar estabilidad.
- Con más de tres ruedas se requiere una suspensión flexible.

Tipos de ruedas

- Rueda Standard: Posee 2 grados de libertad, la rotación alrededor del eje de la rueda y la rotación debida al punto de contacto con el suelo.

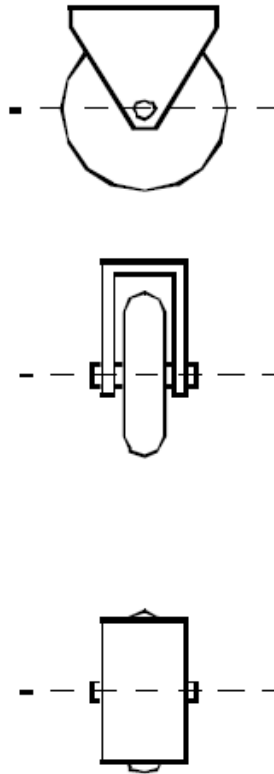


Figura 9. Vistas Rueda Standard

- Rueda Loca: Posee 3 grados de libertad, la rotación alrededor del eje de la rueda, la rotación debida al punto de contacto con el suelo y la rotación debida al eje descentrado de la rueda respecto al punto de agarre superior.

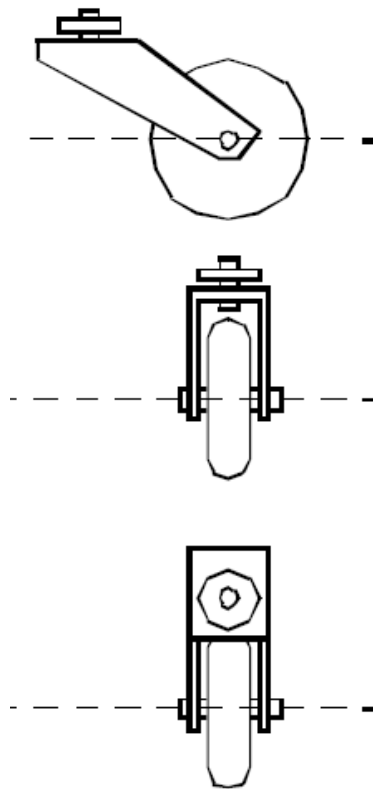


Figura 10. Vistas rueda loca

2.4 Reconfigurabilidad y Modularidad

2.4.1 Definición

Muchos de los términos *modular* y *reconfigurable* son empleados para describir diferentes cosas. Se van a definir ambos términos para tener una mayor claridad a lo largo del proyecto.

Modularidad: La modularidad es definida como la característica de ser construido a partir de un conjunto de componentes estandarizados los cuales usualmente pueden ser intercambiados. Unidad-modular describe un sistema el cual es compuesto de un tipo sencillo de componente repetido.

Como lo muestra la figura 11, los sistemas pueden tener varios grados de unidades-modulares independiente de la reconfigurabilidad².

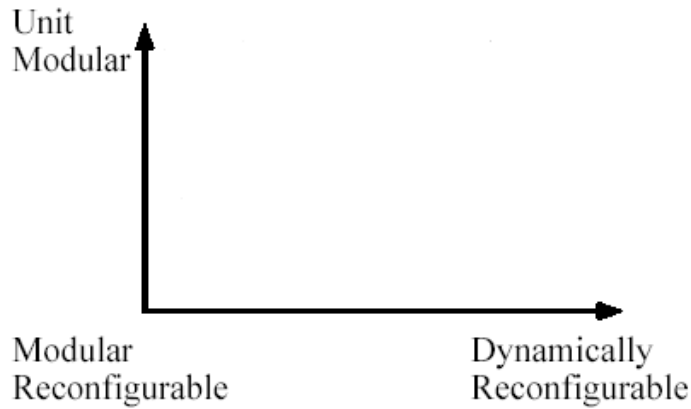


Figura 11. Modularidad y reconfigurabilidad

En el caso de este proyecto, la modularidad del robot puede ser discutible desde el punto de vista de la cantidad de piezas, pero diferenciando las piezas con las unidades-modulares, que son finalmente los que los niños van a manipular, estas son pocas, como lo muestra la figura 12.

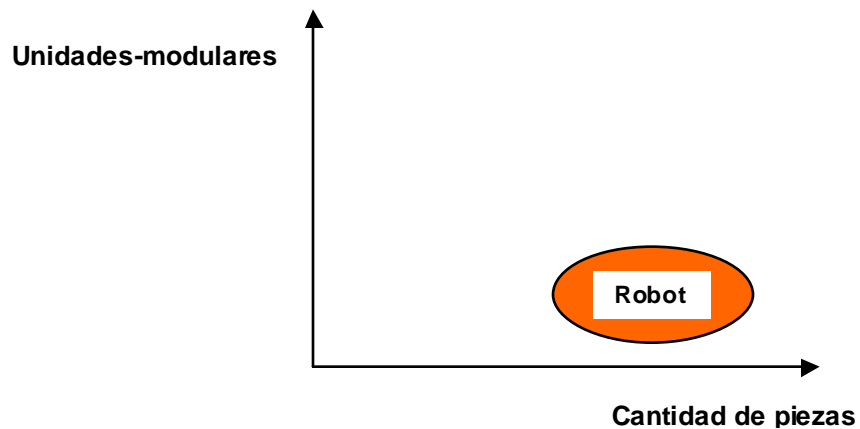


Figura 12. Relación Piezas vs. Unidades-modulares

² Yim, Mark. Ver Bibliografía

Reconfigurabilidad La reconfigurabilidad es un término complejo de definir el cual ha sido usado para explicar diferentes cosas en robótica. Una definición común es la siguiente:

La habilidad para cambiar los componentes físicos de los robots³.

Sobre la anterior definición se puede destacar que en este caso hay 2 métodos de realizar esta intercambiabilidad de las unidades-modulares:

- Dinámicamente reconfigurable, significa que el robot puede reconfigurarse por sí mismo.
- Manualmente reconfigurable, significa que otro agente (humano o robot) puede reconfigurar el robot.

Aparte de las categorías anteriores de acuerdo a sus apariencias geométricas, pueden encontrarse los siguientes:

2.4.1.1 Manipuladores modulares reconfigurables

Los manipuladores modulares reconfigurables típicos [Wurst 1986][Cohen 1990] consisten de módulos con acoples rígidos de longitudes variables y módulos que sirven de robóticas con varios grados de libertad. Khosla en el año 1988 desarrolló un manipulador modular reconfigurable llamado RMMS. Una ventaja sobre los manipuladores tradicionales de la época es que el usuario reorganiza los módulos para nuevas tareas, los parámetros dinámicos son generados automáticamente.

Un ejemplo de un modulo reconfigurable en la industria actual son los end-effector de cambio rápido. Estos han sido utilizados en los manipuladores industriales por años. El end-effector de la mayoría de robots tiene al menos un grado de libertad como un gripper que abre y cierra.

³ Yim, Mark. Ver Bibliografía

2.4.1.2 *Sistemas Unidades-Modulares*

Muchos sistemas en los cuales se ha venido trabajando son las unidades modulares. La característica fundamental de estos elementos es que nos son autónomos, ya que la fuente energía por lo general está en elementos apartes a ellos.

Active Chord Mechanism (ACM): Hirose [1992] fue el desarrollador de muchos robots móviles, pero el más notable fue su robot serpiente. Este robot traía muchos sistemas modulares, la idea fue representar el movimiento de una serpiente con una unidad-modular.

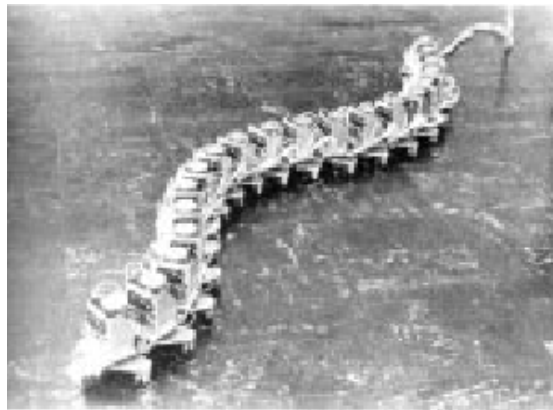


Figura 13. Active chord mechanism, Robot serpiente

2.4.1.3 *Sistemas modulares y dinámicamente reconfigurables*

Cellular robots: El trabajo más representativo de los robots modulares y dinámicamente reconfigurables fue el realizado por Fukuda [1986]. En biología, las células pueden ser vistas como un módulo altamente complejo. A partir de esto Fukuda asignó el término *cellular robotics* o CEBOT a su sistema modular reconfigurable.

Ellos estudiaron las conexiones de las células móviles y propusieron diferentes métodos para la organización de estas células incluyendo algoritmos genéticos. De acuerdo a sus estudios Fukuda y su grupo de trabajo encontraron un óptimo arreglo de células para manipuladores con diferentes tareas.

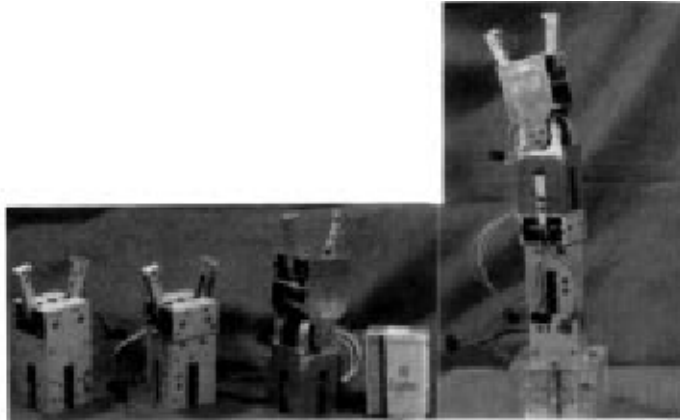


Figura 14. Manipulador CEBOT.

Ya visto las posibilidades de reconfiguración que pueden llegar a tener los robots, en este proyecto se tratará de acotar un poco el desarrollo para definir los pasos a continuar más adelante.

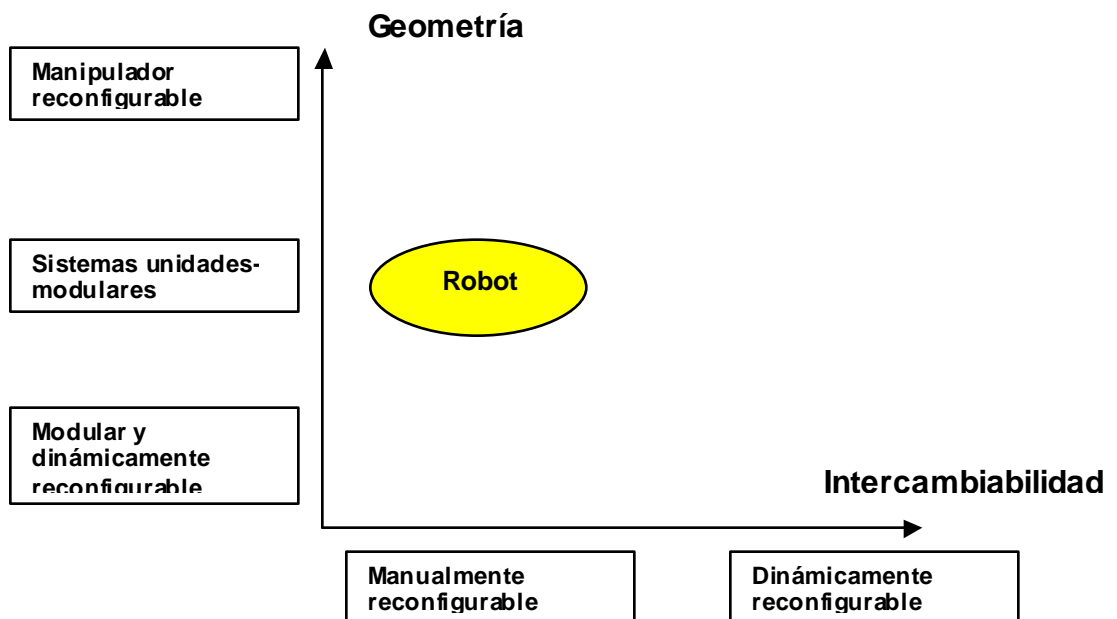


Figura 15. Acotación del robot

2.4.2 Teoría de Modelos Reconfigurables

Este modelo define que los subsistemas de un sistema interactúan entre sí a través de *puertos* [Díaz Calderón, 1998]. Los puertos representan puntos localizados en la frontera del sistema, donde la “energía” se intercambia entre el sistema y el ambiente. En el puerto la “energía” fluye hacia dentro o afuera del sistema. Consecuentemente, debe haber un puerto para cada punto de interacción, y cada puerto corresponderá a un campo de energía. Por ejemplo, considere un transformador eléctrico con 4 terminales, cada terminal representa un puerto a través del cual fluye energía eléctrica hacia fuera o dentro del transformador. En este ejemplo, los puertos corresponden por donde fluye la energía eléctrica; estos capturan el flujo de potencia en términos del voltaje y la corriente.

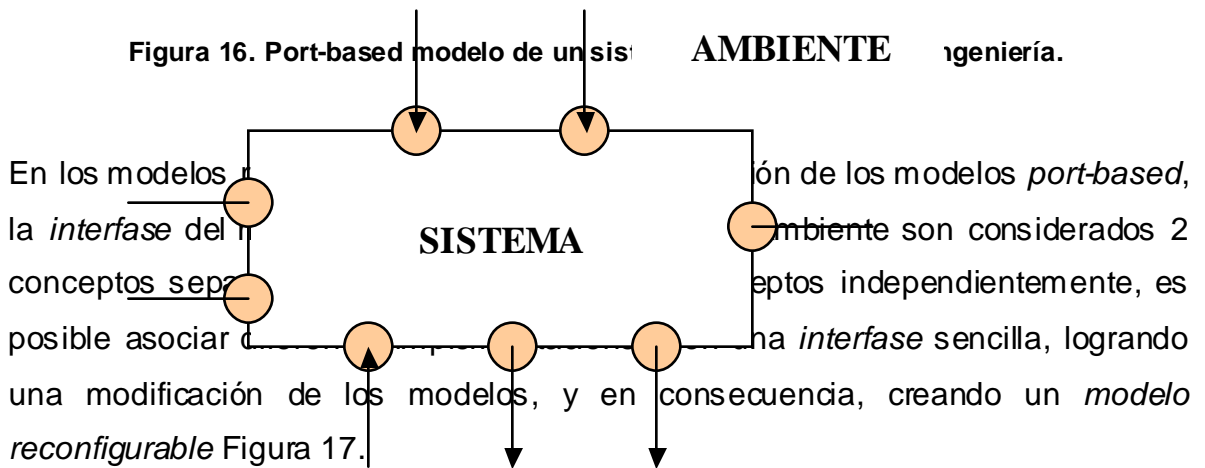
El flujo de energía a través de un puerto es representado por medio de 2 variables: una variable *across* y una variable *through*. Las variables *across* representan valores medidos entre un punto de referencia global y el puerto. Por ejemplo, la variable *across* de uno de los puertos en el transformador representa el voltaje entre el terminal y tierra. Las variables *through* representan valores medidos a través del elemento; por ejemplo, la corriente en el transformador.

Las conexiones entre puertos representan las interacciones entre diferentes componentes. Una conexión entre 2 puertos representa la energía intercambiada entre 2 subsistemas e imponen las limitaciones algebraicas sobre las variables del puerto envueltos en la conexión. En general esas limitaciones toman 2 formas: La primera impone una igualdad de las variables *across*, y la segunda impone que la suma de las variables *through* debe ser cero.

Las interacciones físicas que representan el cambio de energía no tienen dirección predefinida. Por lo tanto, obtenemos una interacción física con conexiones no dirigidas a ningún lado, las cuales representan interacciones *no-causales*.

Paralelamente a los puertos y conexiones del modelo de flujo de energía, también se debe considerar las señales de los puertos. Cuando las señales de los puertos tienen una dirección de entrada-salida predefinida se establece que la interacción es de tipo *causal*, limitando el flujo de energía entre componentes.

Los puertos de un sistema son agrupados en una interfase, la cual define los puntos de interacción del sistema con el ambiente como lo muestra la figura 16.



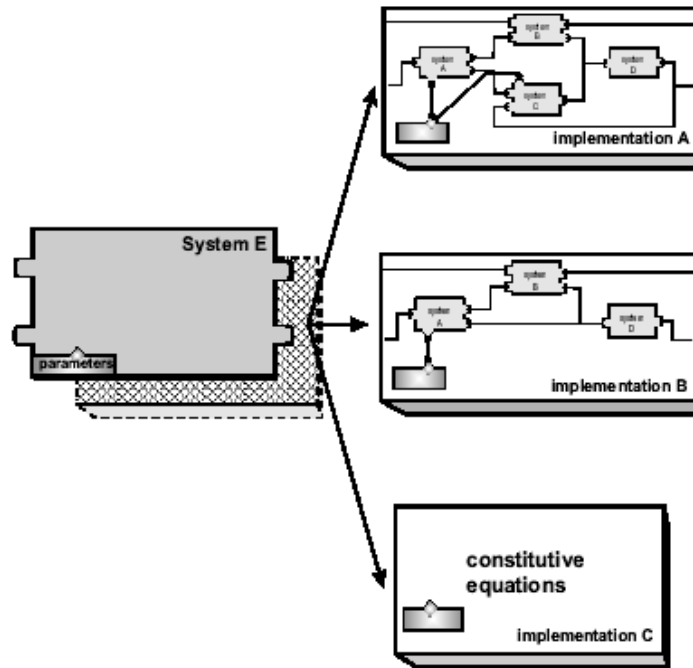


Figura 17. Modelo de sistema reconfigurable

2.4.3 Mediciones de la Reconfigurabilidad

Una posible medida de la versatilidad para los robots reconfigurables son el número de diferentes formas morfológicas que estos pueden asumir. *Chen(1963)* examinó el problema de enumerar la formas isomórficas para los sistemas robóticos modulares que pueden ser ordenados en una estructura de árbol. En la teoría gráfica, *Harare* plantea la pregunta “¿Cuántos animales?” donde un animal es hecho de un polígono regular formado por celdas [*Harare 1967*]. Si las celdas son marcadas, *Klamer (1965)* encontró una relación sobre el número de diferentes formas posibles, a_n , para n formas de celdas.

$$a_n > \frac{3.6^n}{8}$$

Para robots reconfigurables de unidad-modular, muchos factores contribuyen al, a_n estos son: el número de puertos de conexión por modulo, el número de

caminos que 2 puertos pueden ser unidos, simetrías en el puerto de conexión y simetrías en el módulo.

Si hay un solo puerto, luego solo hay 2 módulos a ser conectados. 2 puertos significan que los módulos pueden ser conectados en una serie, en un sencillo lazo cerrado.

El tamaño de a_n puede ser incrementado si hay mas de un camino en que 2 módulos pueden ser conectados.

Es decir, que en este caso tenemos varias unidades-modulares con varios puertos que tienen diferentes simetrías.

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT

3.1 Diseño del robot

Teniendo en cuenta que el robot a construir debe cumplir unos parámetros de reconfigurabilidad y modularidad de acuerdo a lo visto en el capítulo anterior, además de los parámetros de que hacen de este robot un proyecto diferente a los que se han venido desarrollando, y que fue explicado en capítulos anteriores, se deben también considerar los siguientes criterios:

- **Flexibilidad**

- *Fácil y rápido de conectar/desconectar entre módulos y elementos electrónicos*
- *Elementos a la vista para poder enseñar y no tener “cajas negras”.*
- *Diferentes configuraciones mecánicas.*
- *Bajo peso.*
- *Agradable a la vista.*
- *Pocas piezas a manipular.*
- *Piezas sin puntas peligrosas para los niños.*
- *Superficies de las piezas con una textura agradable, para que sean llamativas a los niños.*

- **Confiabilidad**

- *Capaz de soportar el peso establecido.*
- *Módulos rígidos.*
- *Tener una vida útil aceptable.*
- *Capaz de soportar el trato que los niños le harán.*

- **Reproducibilidad**

- Pocas piezas para evitar costos de manufactura en un futuro.
- Realizar elementos que puedan ser fabricados en máquinas herramientas estándares.
- Realizar piezas con materiales fáciles de conseguir en el mercado.

De acuerdo a los parámetros anteriores, el diseño del robot tiene que cumplir cada una de las anteriores características.

Para entrar a diseñar el robot que se desea realizar, lo primero es analizar la locomoción del mismo. Debido a lo visto en el capítulo anterior para este proyecto se tendrá en cuenta las ruedas como locomoción en el robot, y esta selección se realiza debido a las siguientes ventajas:

- Las ruedas son la más apropiada solución para la mayoría de aplicaciones.
- Los niños prefieren robots móviles, y esto se justifica con el trabajo que se ha venido desarrollando en Maloka con el club de robótica, los niños indiscutiblemente se asombran más frente a un robot móvil, eso sin duda lo demuestra la exploración que se realiza en el inicio de cada club, donde la idea general es poder construir un robot móvil que cumpla una tarea determinada.

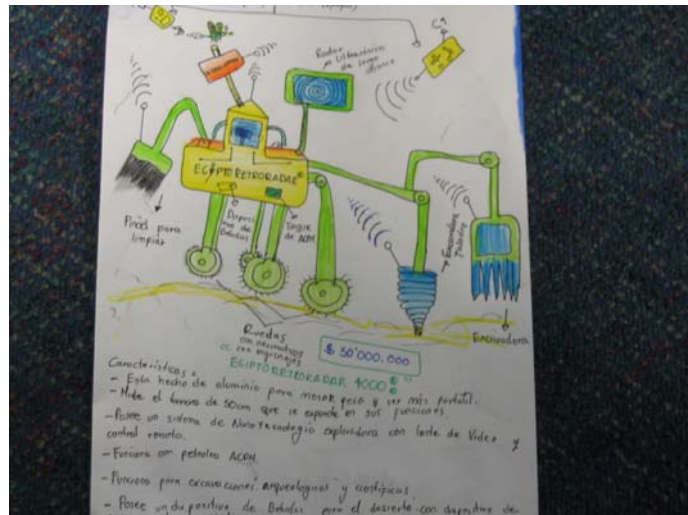


Figura 18. Dibujo realizado por niños en Maloka



Figura 19. Dibujo realizado por niños en Maloka

Ya sabiendo con que elementos se va a mover el robot, se tratará de justificar con cuantas y que tipo de ruedas se fabricará el robot.

En el capítulo anterior se clasificaron las ruedas de acuerdo a los grados de libertad que cada una de ellas tenía, para este proyecto es muy importante que una rueda, tenga la mayor cantidad de grados de libertad, es por esto que se selecciona la rueda loca como soporte en la locomoción del robot.

Ahora para definir el número de ruedas que va a tener el robot se van a tener las siguientes características definidas anteriormente de los robots móviles con ruedas:

- Tres ruedas son suficientes para garantizar estabilidad.
- Con más de tres ruedas se requiere una suspensión flexible.

Las anteriores características son suficientes para definir que lo más apropiado para un robot móvil con ruedas, es que este tenga sólo 3 ruedas.

A nivel geométrico se tienen las siguientes características:

Tracción tipo triciclo

La característica principal de este arreglo geométrico es que la tracción y la dirección del robot se encuentran en la parte delantera, como se puede ver en la figura 20.

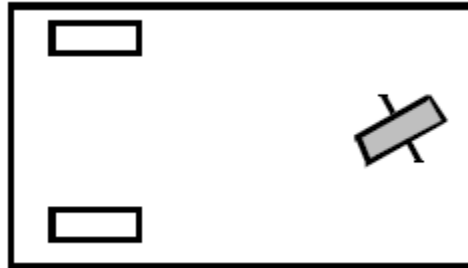


Figura 20. Arreglo geométrico tipo triciclo

Tracción diferencial

Esta configuración consiste en que las ruedas traseras de manera independiente proporcionan tracción y dirección (Figura 21), esta última se genera a partir del control del robot, entregando diferentes voltajes y por esto los motores giran con velocidades diferentes debido a la relación lineal que existe entre voltaje suministrado y velocidad del servomotor.

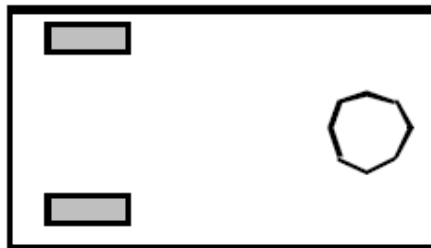


Figura 21. Arreglo geométrico tipo diferencial.

Tracción y dirección independientes

Este arreglo consiste en que las ruedas traseras a través de un eje se mueven por medio de un solo motor acoplado al eje, y la delantera proporciona dirección por medio de otro motor.

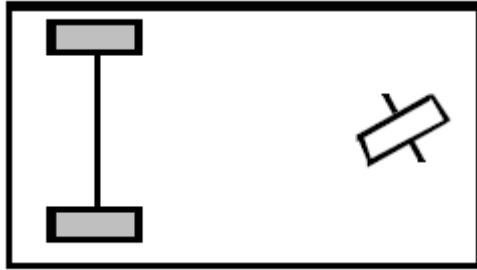


Figura 22. Arreglo geométrico tracción y dirección independientes.

En el caso de este proyecto la reconfiguración se hará de acuerdo a los 2 primeros arreglos vistos anteriormente, el tercero llevaría un aumento considerable en las piezas, y por consiguiente el aumento del costo del proyecto.

Además de que el robot va a poder ser reconfigurado para lograr 2 arreglos geométricos, también se podrán hacer arreglos de tal manera que sufra cambios físicos que se van a reflejar en el desempeño del robot. Estos cambios físicos se harán teniendo en cuenta la cinemática que tiene un robot móvil de los arreglos anteriores.

Tracción tipo triciclo

Este tipo de arreglo tiene una configuración en cuanto a las variables cinemáticas de la siguiente manera [10]:

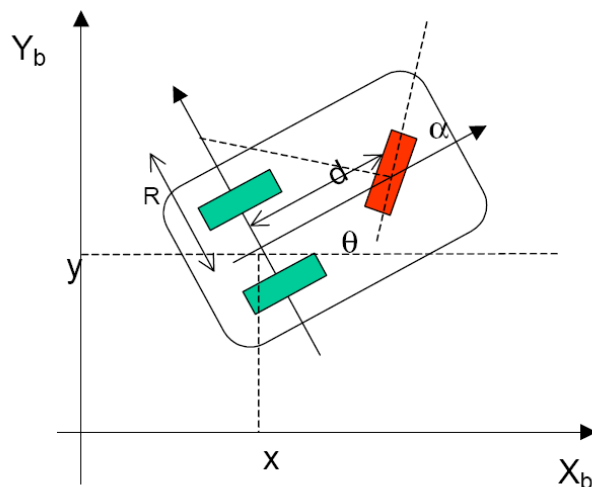


Figura 23. Variables cinemáticas del arreglo tipo triciclo

Variables

ICC: centro instantáneo de rotación.

R: Distancia del centro instantáneo al eje central del robot.

R: Radio de la llanta.

θ : Ángulo del robot respecto al sistema de coordenadas tierra.

D: Distancia entre las ruedas traseras y la delantera.

$\alpha(t)$: Angulo de la rueda de dirección respecto al sistema de coordenadas del robot.

$\omega_s(t)$: Velocidad angular de la llanta delantera.

Variables de control

$\omega_s(t)$ y $\alpha(t)$

Lo que se pretende con realizar la reconfiguración del robot es intervenir algunas de las variables, modificando la posición de las llantas cuando el niño lo desee así, es decir, en este caso que la variables que se podría modificar sería la distancia entre las llantas traseras y la llanta delantera, esto se ve representado en la ecuación cinemática del robot así:

$$\omega(t) = \frac{\omega_s(t) * r}{d} * \sin \alpha(t)$$

donde d, es la distancia entre llantas traseras y delantera, y es la variable geométrica modificable por parte del niño.

Tracción diferencial

Este arreglo tiene una configuración en cuanto a las variables cinemáticas de la siguiente manera [10]:

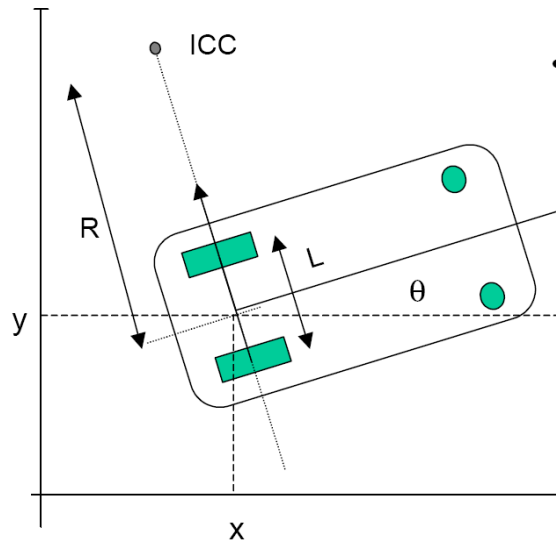


Figura 24. Variables cinemáticas del arreglo diferencial

Variables

ICC: centro instantáneo de rotación.

R: Distancia del centro instantáneo al eje central del robot.

r: Radio de la llanta.

$V_d(t)$: velocidad de la rueda derecha del robot.

$V_i(t)$: velocidad de la rueda izquierda del robot.

θ : Ángulo del robot respecto al sistema de coordenadas tierra.

L: Distancia entre llantas.

Variables de control

$V_d(t)$ y $V_i(t)$

Al igual que en el anterior arreglo se pretende que el niño modifique algunas de las variables, en este caso será otra y va a influir de otra manera sobre el desempeño final del robot.

$$\omega(t) = \frac{Vd(t) - Vi(t)}{L}$$

donde, L es la distancia entre llantas traseras, y será la variable geométrica que el niño podrá modificar.

3.2 Representación modular

Una ventaja de aplicar la filosofía de diseño modular al problema del robot educativo es que se centra en las unidades-modulares que se definirán a continuación, además de haber seleccionado el tipo de locomoción, se entrará en detallar las características propias del robot móvil con ruedas que se definió, por esto y teniendo en cuenta la necesidad de crear un robot con ruedas reconfigurable se diseñan 4 módulos fundamentales (unidades-modulares) con las siguientes características:

Modulo Locomoción

Este modulo tiene los siguientes elementos [11]:

Cantidad	Pieza	Máquina Empleada	Material	Notas
2		Fresa	Empack	Pieza que lleva los imanes del modulo.
1		Fresa	Empack	Pieza intermedia entre que va entre las anteriores
1		Fresa	Empack	Pieza que lleva el eje que va acoplado a la llanta







1		Fresa	Empack	Elemento donde reposa la flor para el acople del servo
1		Torno	Empack	Eje que va acoplado a la llanta
1		Fresa	MDF	Camisa que envuelve el servomotor
1		Maquina de Prototipo	ABS	Flor para transmitir potencia entre modulos
1		Maquina de Prototipo	ABS	Pieza para unir la llanta al eje
1		Maquina de Prototipo	ABS	Pieza para unir la llanta al eje
1		N.A.	N.A.	Servomotor

Tabla 2. Piezas Modulo Locomoción

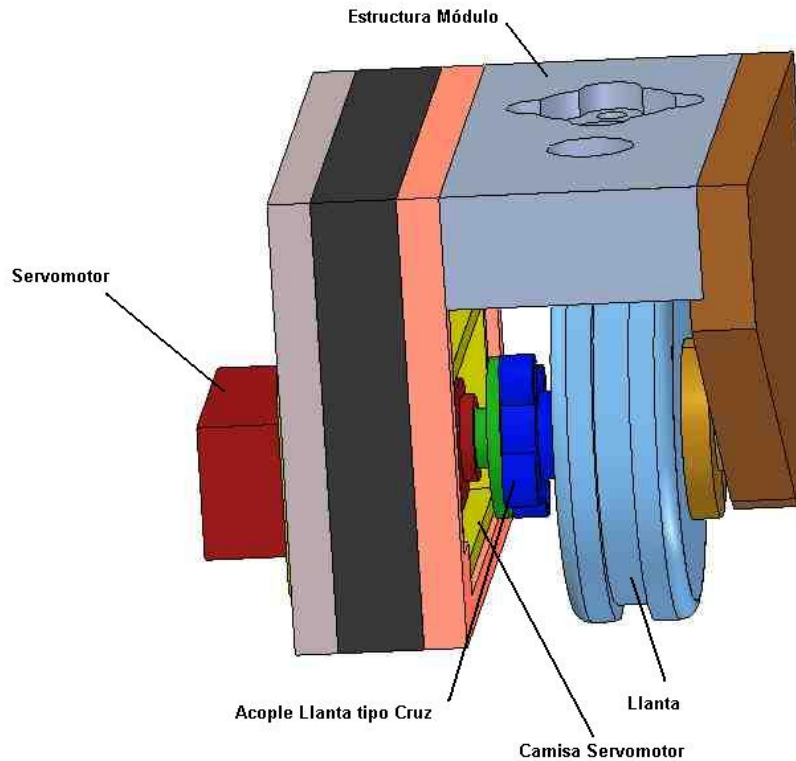


Figura 25. Módulo Locomoción

Este módulo es el principal del robot debido a que es el que provee la locomoción, sus características son:

- Rueda delantera con tracción (triciclo).
- Rueda delantera sin tracción (rueda loca).
- Rueda trasera con tracción (diferencial).
- Rueda trasera sin tracción (triciclo).

Como se definió anteriormente se logró que el robot tuviera 2 configuraciones geométricas en la locomoción, para lograr estas variantes geométricas o reconfigurar el robot, se deben hacer unos pequeños cambios, que son:

- *Rueda delantera con tracción:* Se coloca el módulo en la parte delantera del robot y se acopla el servomotor de tal manera que la única manera que la llanta gire es cuando el servomotor le transmite potencia.

- *Rueda delantera sin tracción:* Igualmente se coloca el modulo en la parte delantera, pero la diferencia es que el servomotor se desacopla para que la llanta gire libremente.
- *Rueda trasera con tracción:* Se acopla el servomotor para que el robot funcione de manera diferencial, esto se hace simultáneamente con los 2 modulos traseros.
- *Rueda trasera sin tracción:* Se desacoplan los servomotores de los modulos traseros para que el modulo delantero sea el que de tracción y a su vez dirección al robot.

Teniendo en cuenta lo visto en el capítulo anterior, sobre la reconfigurabilidad del robot, vamos a describir los puertos y las conexiones que tiene este, y cuantas posibles configuraciones puede asumir.

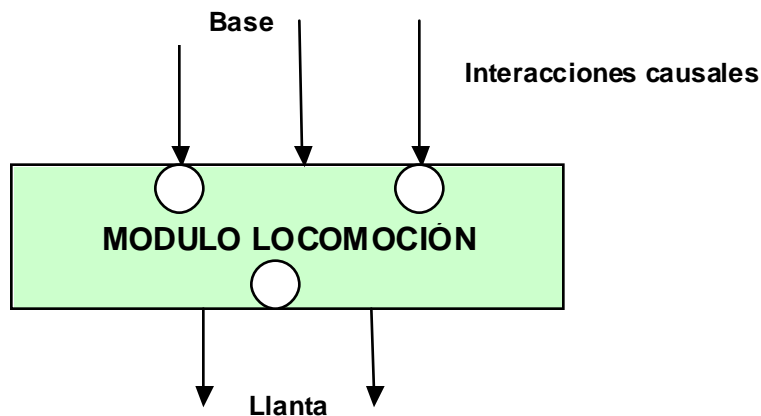


Figura 26. Representación general del módulo

La figura anterior muestra la interacción que tiene el modulo con su entorno, estableciendo que los límites de este son la base del robot, y la llanta; estos

elementos se pueden determinar como la frontera de la unidad-modular, los puertos determinan donde puede conectarse este a otras unidades-modulares o elementos del sistema. La dirección de las flechas vienen determinadas por la interacción que tiene este modulo con sus fronteras, la base es la que proporciona la ubicación del modulo en el sistema, y por esto es que la interacción es base-modulo en una sola dirección, el modulo a su vez tiene una relación con la llanta de manera que pueden tener 2 tipos de conexiones. Estos puertos no representan la reconfigurabilidad que se puede llegar a tener con otros módulos.

Módulo Rueda Loca

Este módulo tiene las siguientes piezas:

Cantidad	Pieza	Máquina Empleada	Material	Notas
1		Fresa	Aluminio	Es la base para colocar el portarodamiento
1		Torno	Aluminio	Es la pieza que lleva alojado el rodamiento
1		Torno	Aluminio	Eje que va acoplado al rodamiento
1		N.A.	N.A.	Rodamiento

Tabla 3. Piezas Modulo Rueda Loca

Su principal característica es realizar la función sobre el módulo-locomoción de rueda loca, es decir, que el módulo-locomoción en la parte delantera del robot tenga un movimiento libre cuando las ruedas traseras le dan tracción al robot.

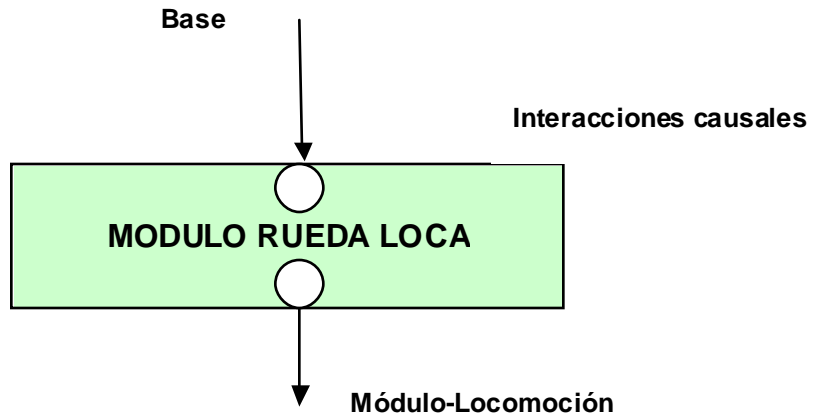


Figura 27. Representación general del módulo

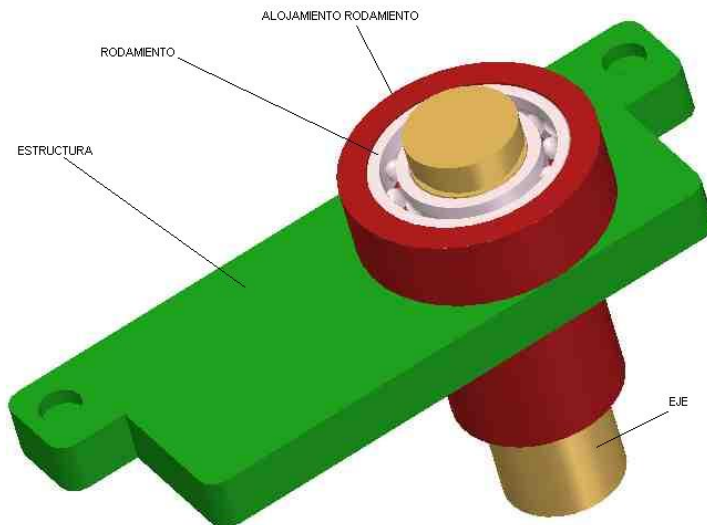


Figura 28. Modulo Rueda Loca

Según la teoría de reconfigurabilidad este módulo tiene 2 puertos que interactúan en sus fronteras con el ambiente, al igual que el anterior módulo sólo tenemos interacciones causales, y su único intercambio se da con la base y con el módulo-locomoción.

Módulo Dirección

Este módulo tiene las siguientes piezas:

Cantidad	Pieza	Máquina Empleada	Material	Notas
1		Fresa	MDF	Camisa que envuelve el servomotor
1		N.A.	N.A.	Servomotor
1		Maquina de Prototipo	ABS	Flor para transmitir potencia entre modulos

Tabla 4. Piezas Modulo Dirección

Su principal característica es proveer dirección al robot, a través del módulo-locomoción ubicado en la parte delantera de este. Su semejanza con el módulo rueda loca radica en que tiene 2 puertos de conexión, y también su frontera es la base y el módulo locomoción.

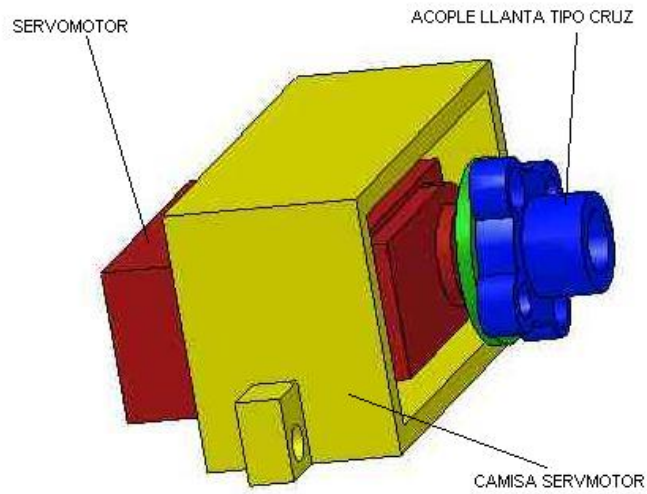


Figura 29. Módulo Dirección

3.3 Reconfigurabilidad

En la anterior sección se definieron los módulos que van a intervenir a lo largo de este proyecto, y que serán fundamentales para la construcción del robot, con estos módulos se pueden realizar diferentes configuraciones, en esta sección se verá la representación matemática de las configuraciones del robot, teniendo en cuenta lo visto anteriormente.

Representación Gráfica

La representación cinemática de los módulos y sus puertos son a veces representados por gráficas. Reemplazando los puertos por barras o líneas y los módulos por uniones, podemos obtener una representación gráfica de la configuración del robot.

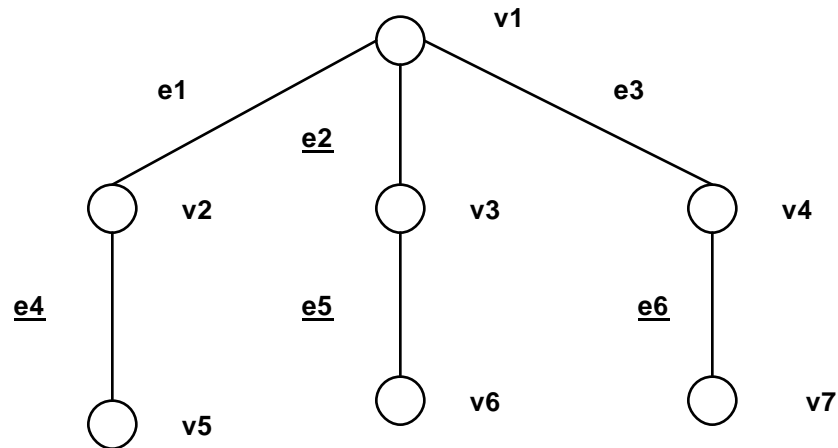


Figura 30. Representación gráfica Configuración Robot

Aunque en la gráfica anterior no se detalla las posibles reconfiguraciones del robot, si determina que módulos y conectores son los que van influir en estas reconfiguraciones. Esta gráfica se describe a continuación:

v1: *Base del robot, con la cual es posible reconfigurar el robot de diferentes maneras.*

e1, e2, e3: *Puertos de la base que conectan a los 3 módulos de locomoción.*

v2, v3, v4: *Módulos de locomoción.*

e4, e5, e6: *Conectores situados en los servomotores de los módulos de locomoción.*

v5, v6, v7: *Llantas, que son el último eslabón del robot.*

Con la anterior gráfica se establecieron los principales elementos constitutivos del robot. Ahora se van a estipular el número de configuraciones que se pueden obtener:

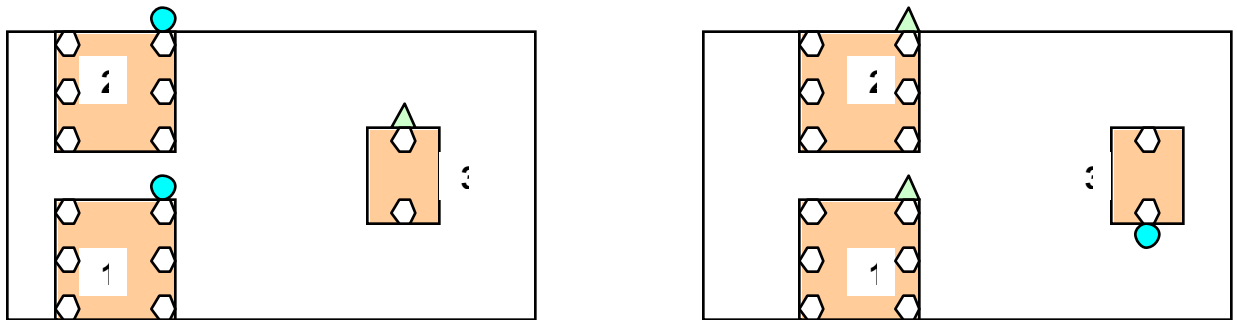


Figura 31. Posibles configuraciones del robot

La reconfiguración del robot, está basada en la cantidad de posiciones que asumen los diferentes módulos, en el momento en que los niños lo desean así, la anterior gráfica muestra como se establece esto.

Los rombos pequeños determinan las posiciones que pueden tener los módulos sobre la base en la parte trasera, en la parte delantera determina las 2 posibles configuraciones (dirección y rueda loca) que asumen. Los círculos significan que el modulo locomoción tiene acoplado el motor para transmitir potencia, por el contrario los triángulos significan que las ruedas están libres. Para la reconfiguración del robot se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

- Los motores en la zona 1 como en la zona 2 deben tener la misma configuración.
- En la zona 3, si el motor esta acoplado a la llanta, se debe utilizar el módulo dirección, por el contrario si el motor está desacoplado se debe tener el módulo rueda loca.

Las anteriores restricciones limitan el número de reconfiguraciones posibles, pero aún así, son considerables la cantidad obtenida, determinándose de la siguiente manera:

Base: La posibilidad de reconfiguraciones está determinada por los cambios geométricos, que son 6 por cada una de las llantas traseras, sin restricción alguna,

además de tener 2 posibilidades de reconfiguración para la llanta delantera, cambiando el módulo. Teniendo 64 configuraciones, hasta ahora.

Modulo locomoción: En este módulo hay 2 posibilidades de configuración, cuando el motor está o no acoplado a la llanta, es decir que con este se puede aumentar el número de configuraciones a 128, haciendo este número considerable teniendo en cuenta el fin para lo que está diseñado.

4 CONCLUSIONES

La teoría de reconfigurabilidad a pesar de que ha sido desarrollada para robots manipuladores o robots de una sola unidad-modular puede ser planteada para cualquier tipo de robot, teniendo claridad de los elementos constitutivos de esta.

El robot obtenido a partir de las unidades-modulares creadas puede llegar a ser tan funcional para la enseñanza de la robótica como los hechos a partir de piezas individuales debido a las reconfiguraciones creadas.

Esta teoría ayuda para ver desde una perspectiva lógica cada una de las unidades-modulares creadas y sus diferentes configuraciones.

La cantidad de reconfiguraciones que se lograron en este proyecto motivan para que el niño muestre un interés adicional en el robot diseñado.

Los módulos diseñados en el presente documento a excepción de 2 piezas se fabricaron en máquinas herramientas convencionales, por lo que los costos de manufactura se vieron disminuidos en gran medida, además de que los materiales utilizados son ampliamente comerciales tanto en su cantidad como en su forma.

Las pruebas realizadas en los niños se presentaron en diferentes etapas del proyecto, esto conllevó en varias ocasiones a realizar cambios en el diseño final del robot. Las características que al finalizar la etapa de exploración, conduyeron en las modificaciones fueron:

- El diseño preliminar tenía muchas piezas que a los niños les costaba comprender, y que al momento de ensamblar se perdían, y pasaba de ser una etapa de ensamble a una etapa de análisis y diseño; esto sin lugar a dudas desenfocaba el objetivo para lo cual fue desarrollado el robot.

- El segundo diseño tenía el concepto de modularidad y tenía pocas piezas, pero acá el problema, fue el peso de la base del robot, debido a que era difícil de manipular, además de que el material en que fue fabricado el cual fue acrílico era muy frágil por lo que se rompía con facilidad.

Finalmente se logró obtener una plataforma que tuviera las características deseadas en este proyecto, poniéndolas de manifiesto durante la exploración con algunos niños.

Definitivamente los niños en el proceso de aprendizaje en la robótica requieren de algún objeto que ellos puedan manipular y con el cual se sientan a gusto. Cabe recalcar la importancia que tiene, que dichos objetos tengan las características de que sus componentes sean fácilmente identificables.

Los móviles son los robots sin lugar a duda, que generan más asombro en los niños para que ellos se interesen más en la robótica y en sus áreas constitutivas.

La experiencia obtenida en los clubes de robótica en los cuales se participó, fue fundamental a la hora de tomar decisiones acerca de lo que se pretendía en el proyecto, y lo que finalmente se logró.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ruiz-Velasco S., Enrique “La robótica pedagógica”, Sociedad Mexicana de Computación de la Educación. 1998, México.

[2] Miglino, O., Hautop L., H., Cardaci, M., “La robótica como herramienta para la educación”. Journal of Interactive Learning Research.

[3] M. M. Sánchez “Ambiente de Aprendizaje con robótica pedagógica”, Tesis de Magíster en Ingeniería Eléctrica. Universidad de los Andes.

[4] Departamento de Producción “Clubes de Tecnología”, Maloka, 2003.

[5] Schilling, Robert J., “Fundamentals of Robotics: Analysis and Control”, Prentice Hall, 1990, USA.

[6] Ashby, Michael A., “Materials Selection in Mechanical Design”, Butterworth-Heinemann, Second Edition, 1999, UK.

[7] Villamizar Merchán, Ivonne Johanna., “Modulo de robótica para el aprendizaje de las ciencias en educación secundaria”, Tesis de Ingeniería Eléctrica. Universidad de los Andes.

[8] Yim, Mark, “Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot”, Ph.D. Thesis. Mechanical Engineering Department, Stanford University. 1995.

[9] Díaz-Calderón, Antonio; J.J. Paredis, Christiaan; K. Khosla, Pradeep, "Organization and selection of reconfigurable models", Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, 2000.

[10] Ribeiro, Maria Isabel; Lima Pedro., "Kinematics Models of mobile robots", Instituto Superior Técnico, Instituto de Sistemas y Robótica, Portugal, 2002.

[11] Zhang, Jun; Farritor, Shane, "A method to evaluate robot configurations in task-based modular design", Department of Mechanical Engineering, University of Nebraska, USA, 2001.

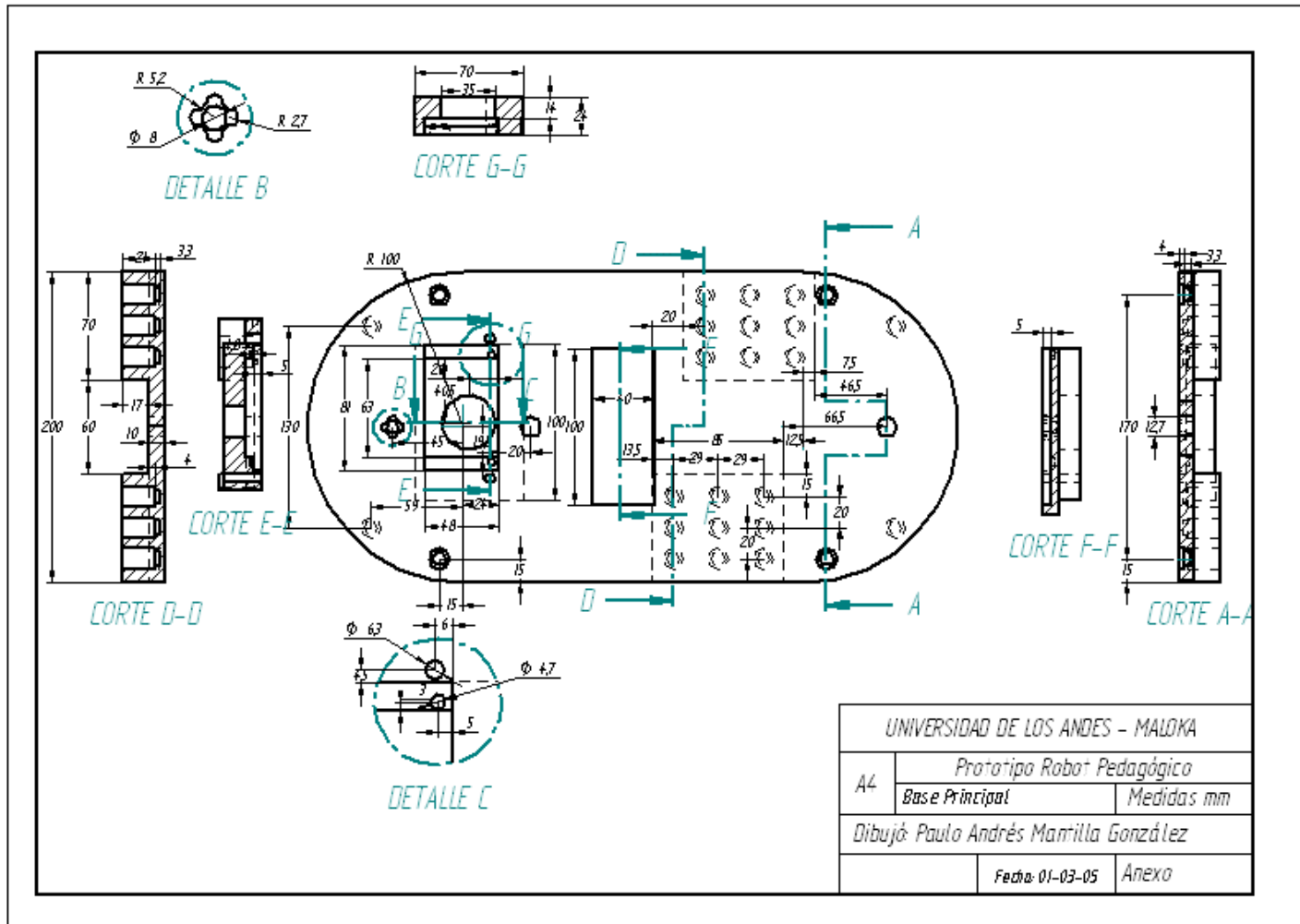
[12] Chitta, Sachin; Ostrowski, James P., "Enumeration and Motion Planning for Modular Mobile Robots", CIS Technical Report, General Robotics Automation, Sensing and Perception (GRASP) Laboratory, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2000.

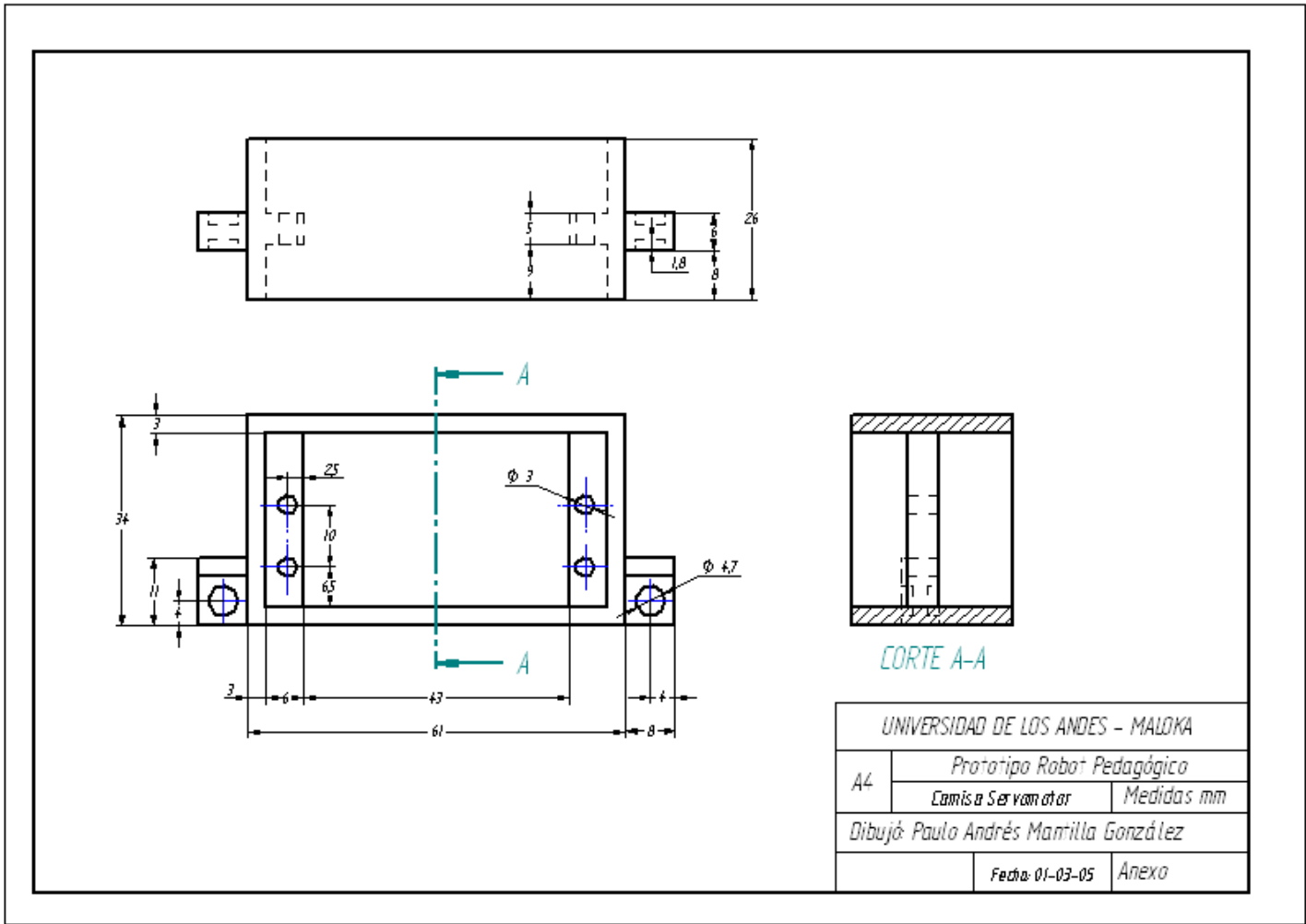
[13] <http://www.robotstore.com/>

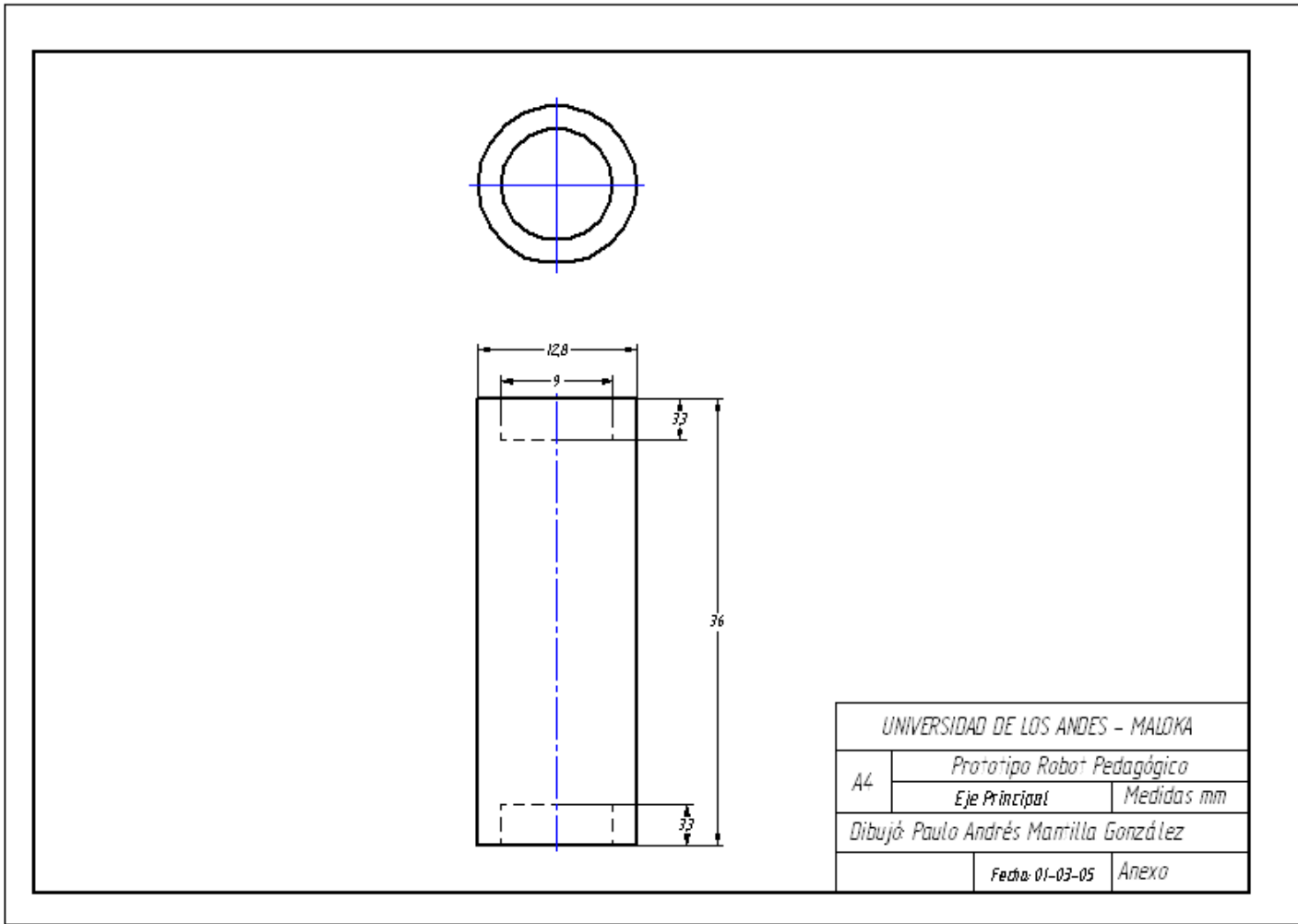
[14] <http://www.legomindstoms.com/>

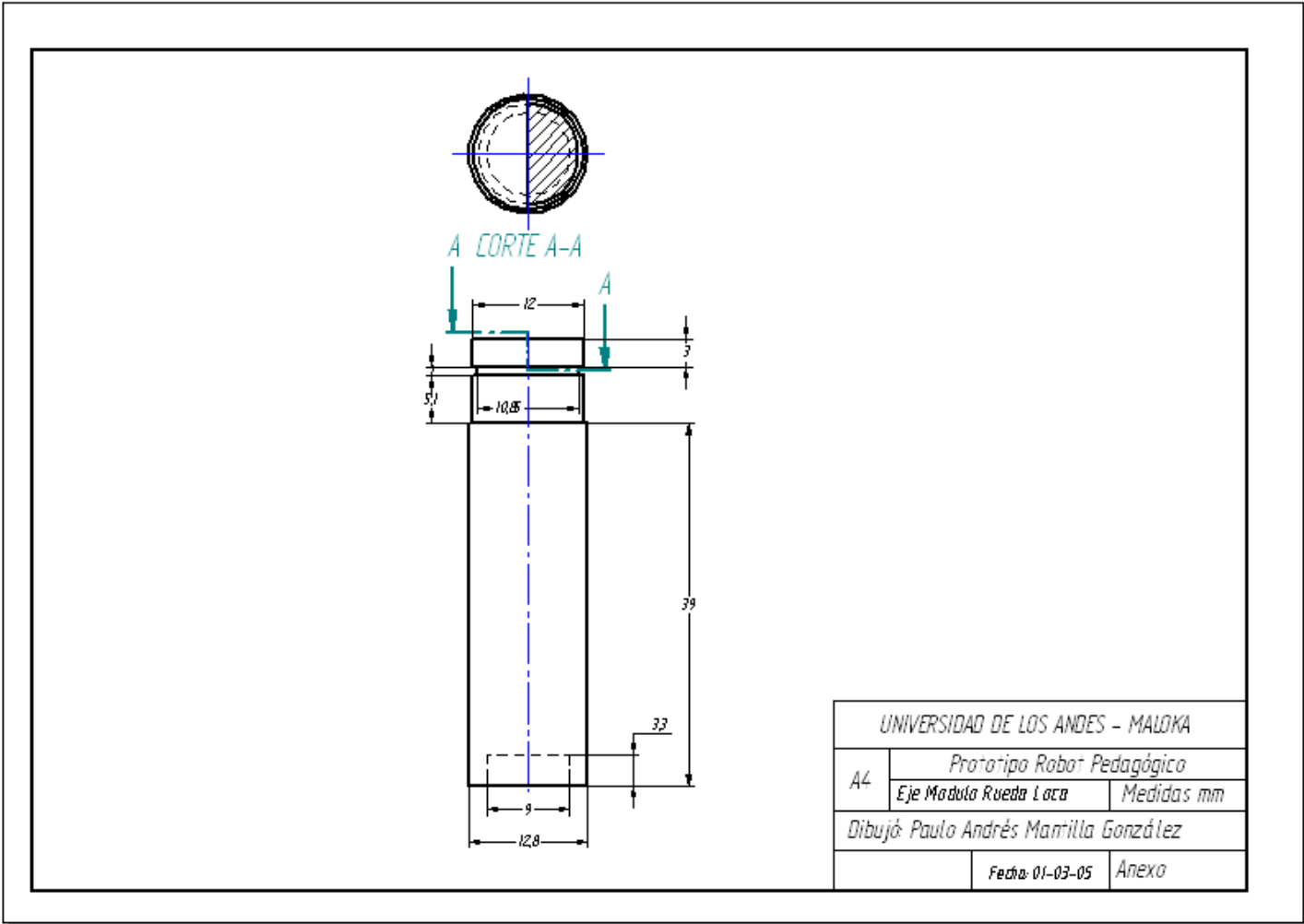
(Nota. Las páginas de Internet están citadas a Diciembre de 2004)

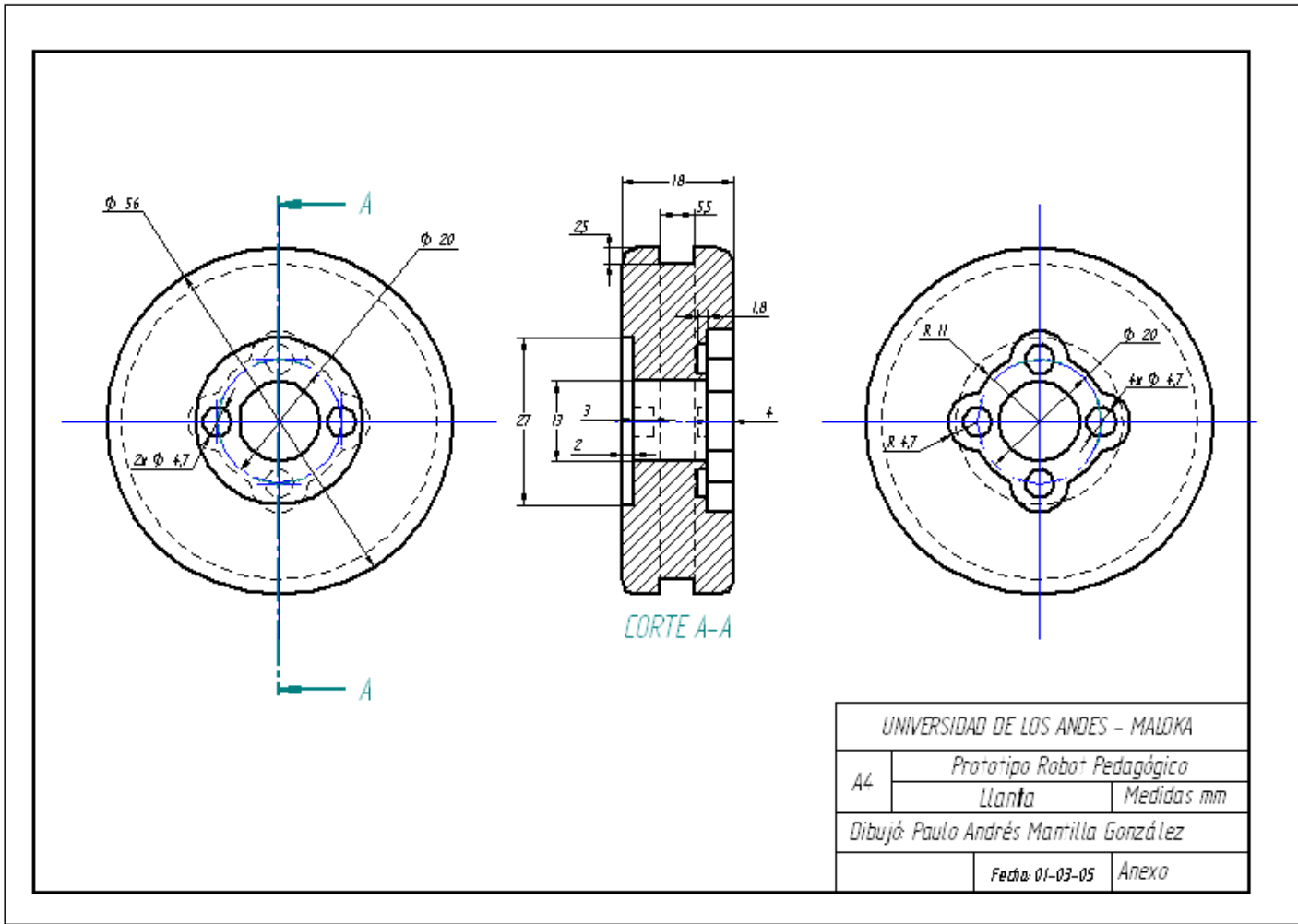
ANEXOS

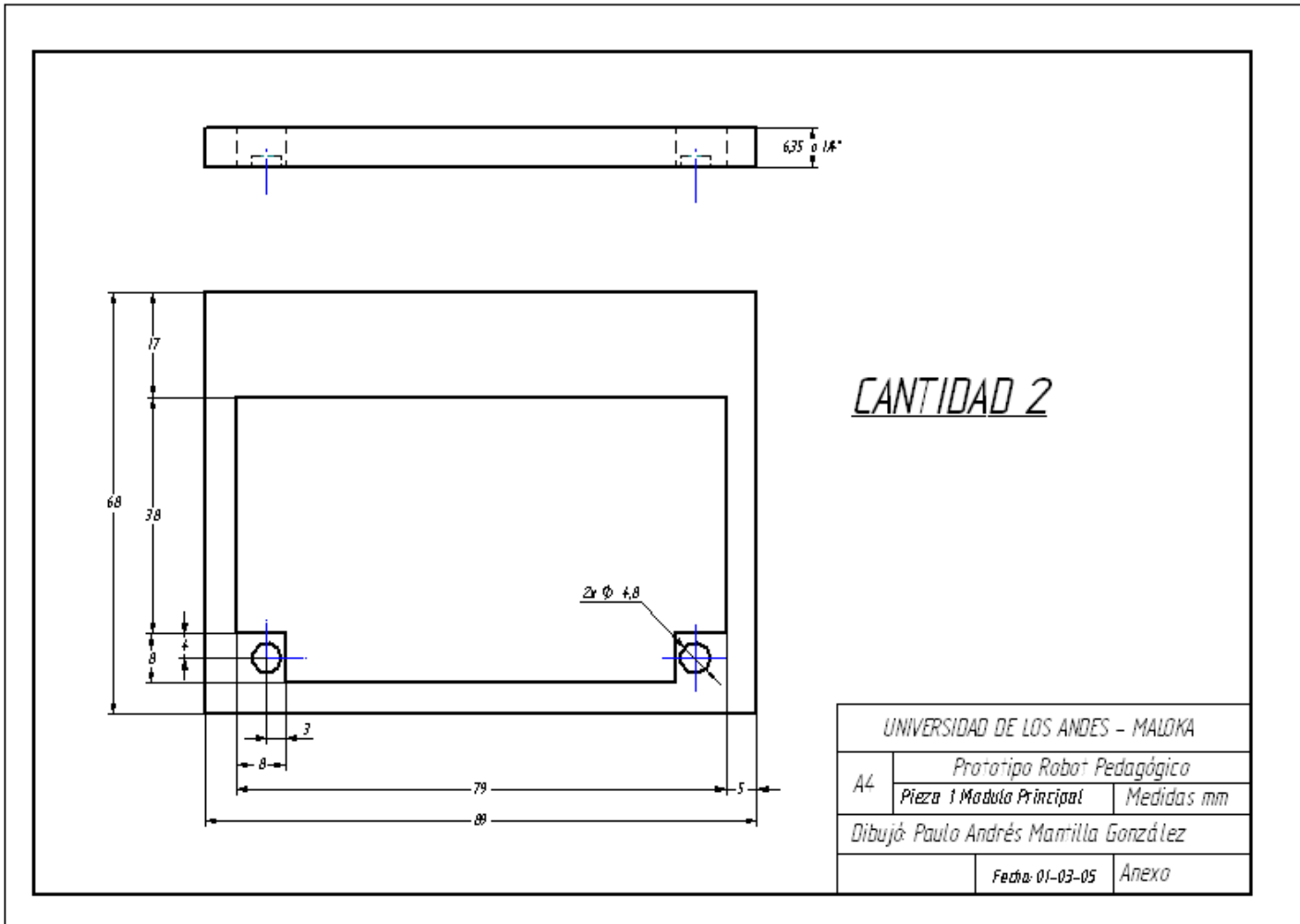


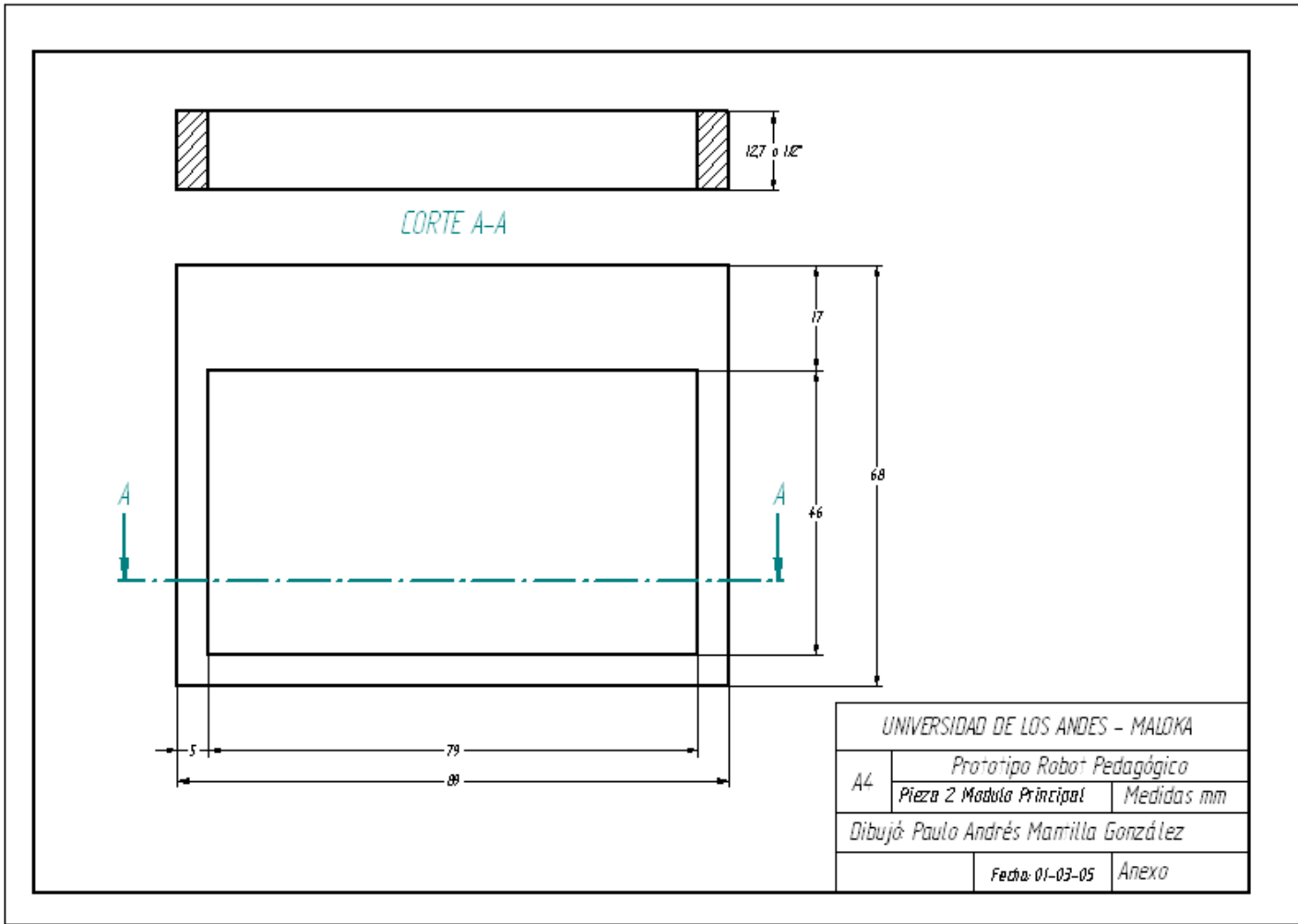


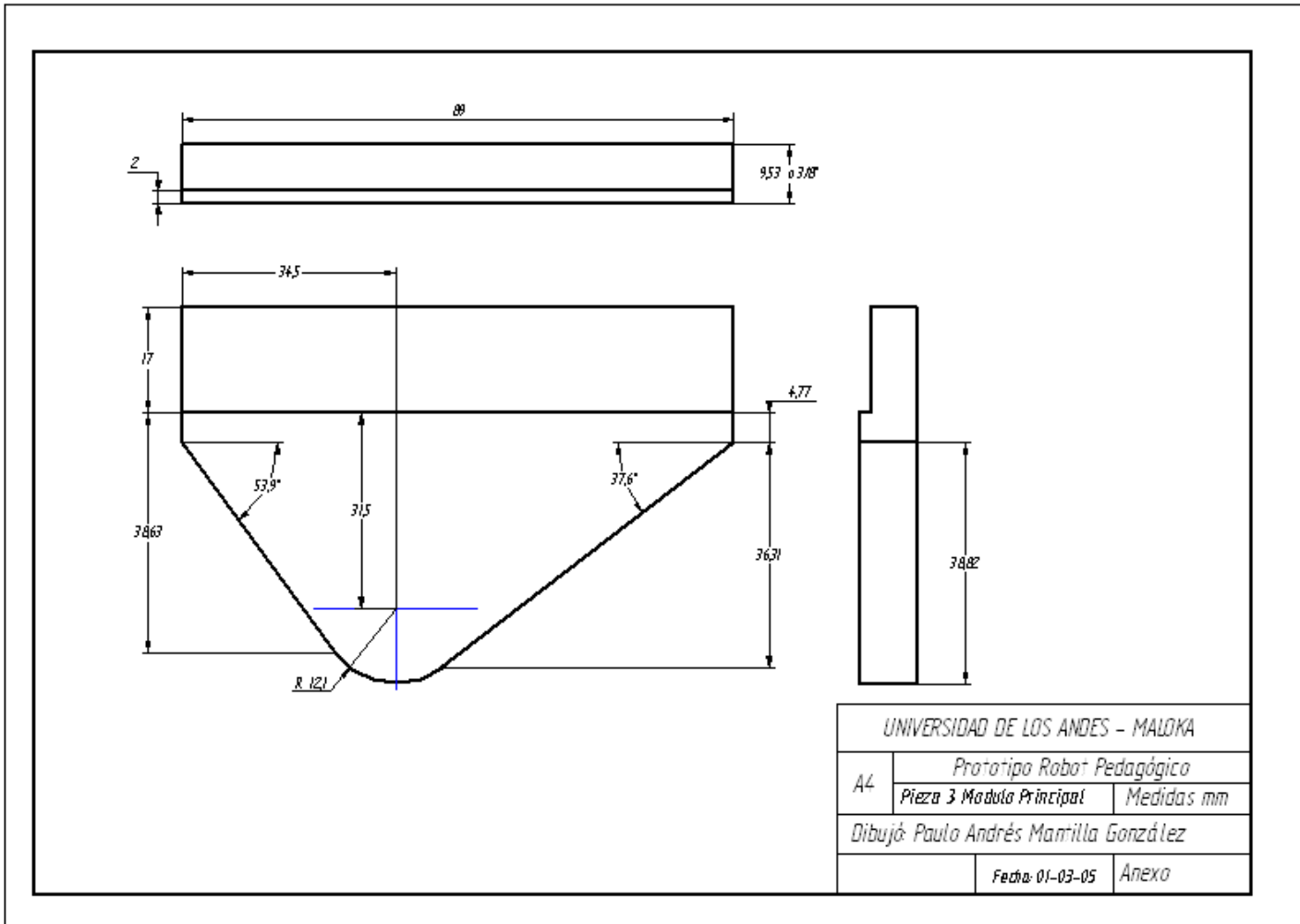


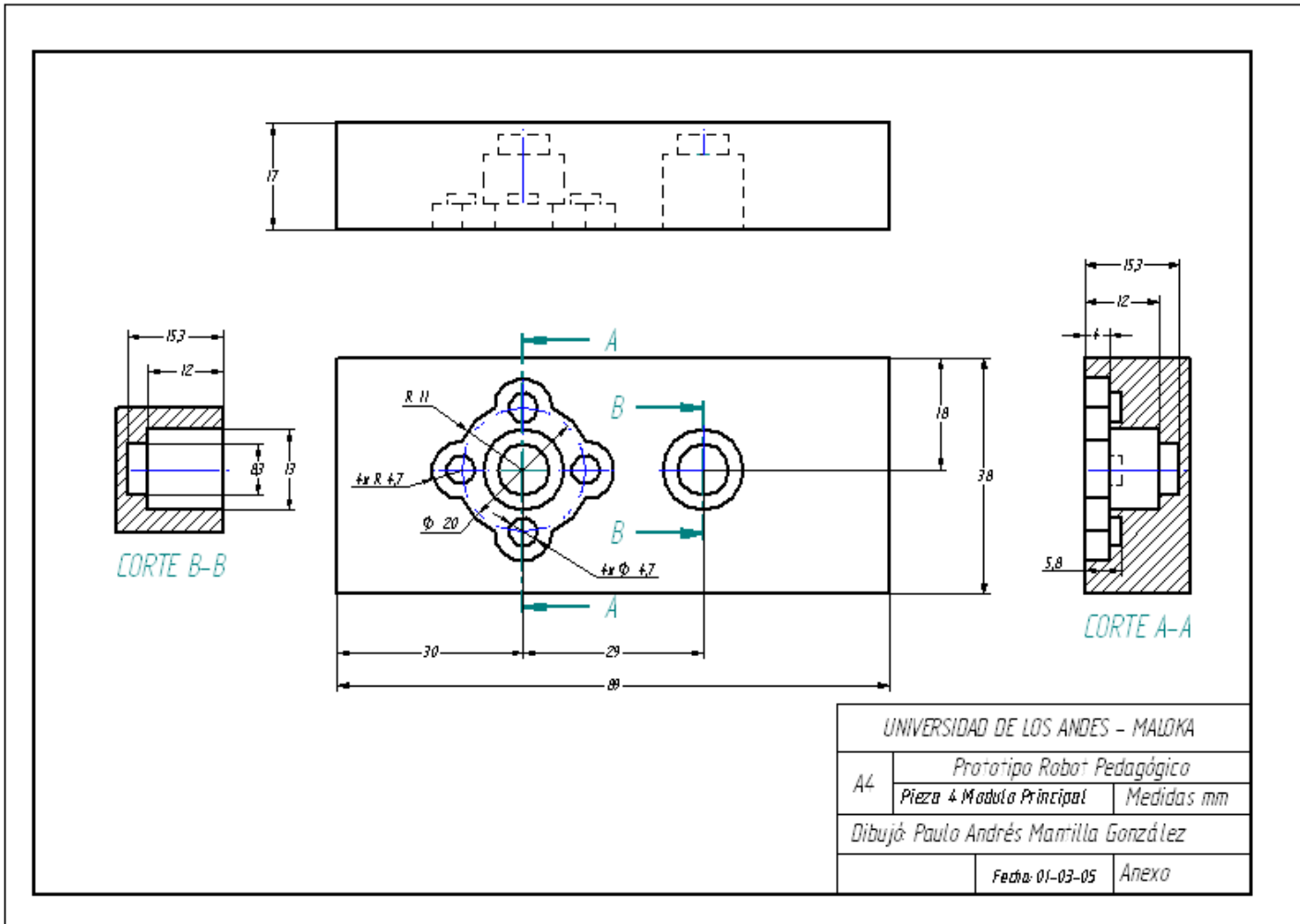


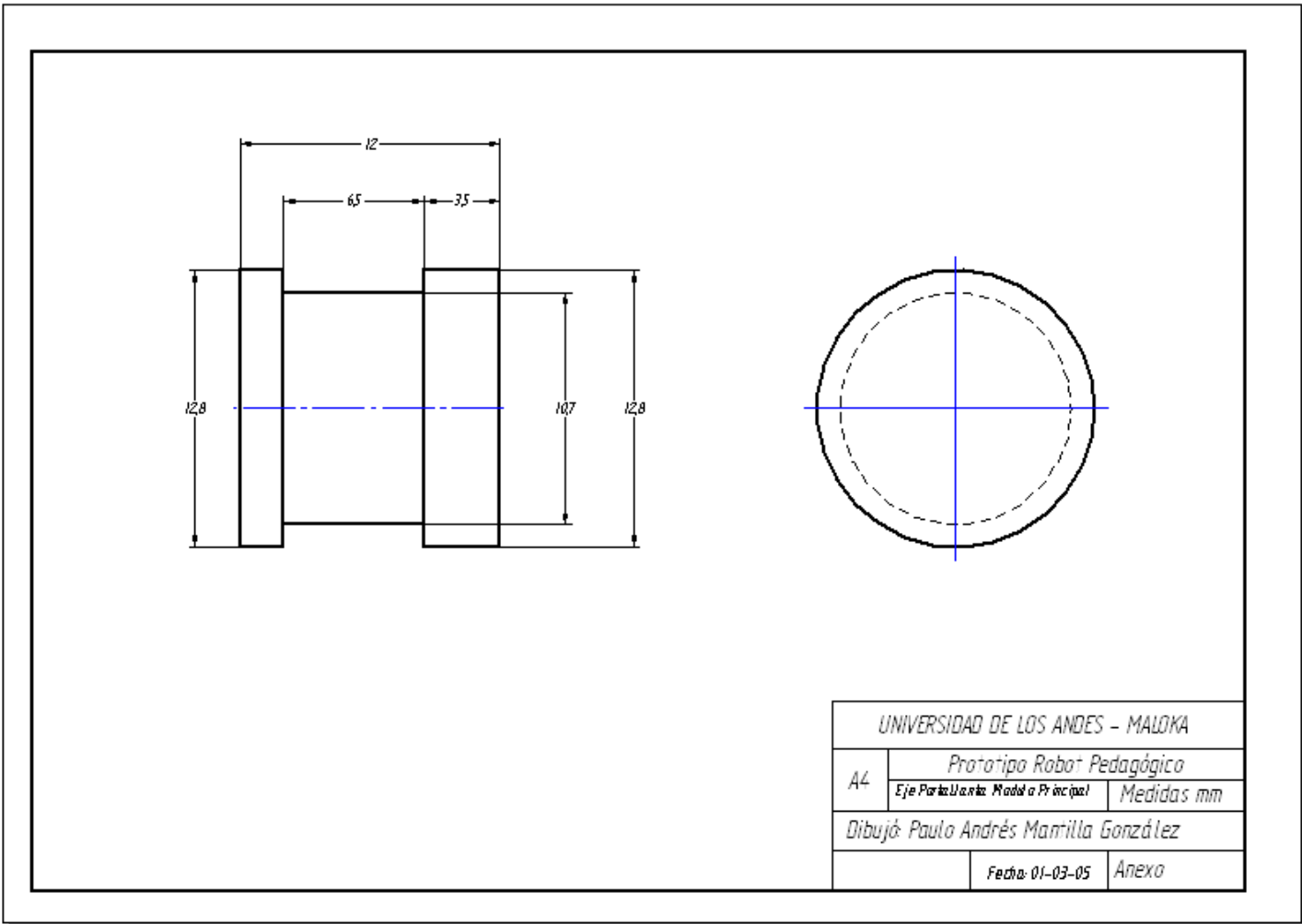


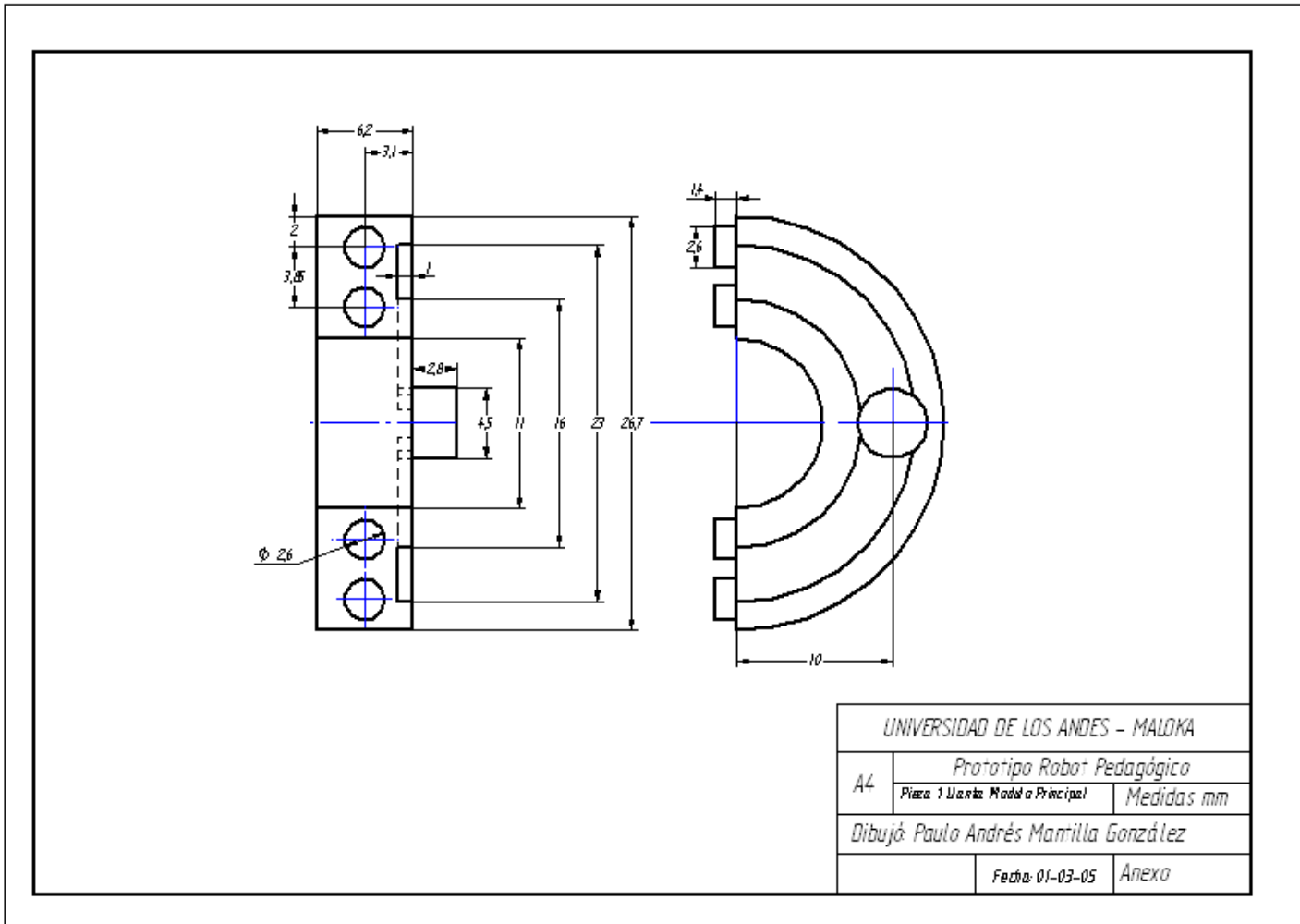


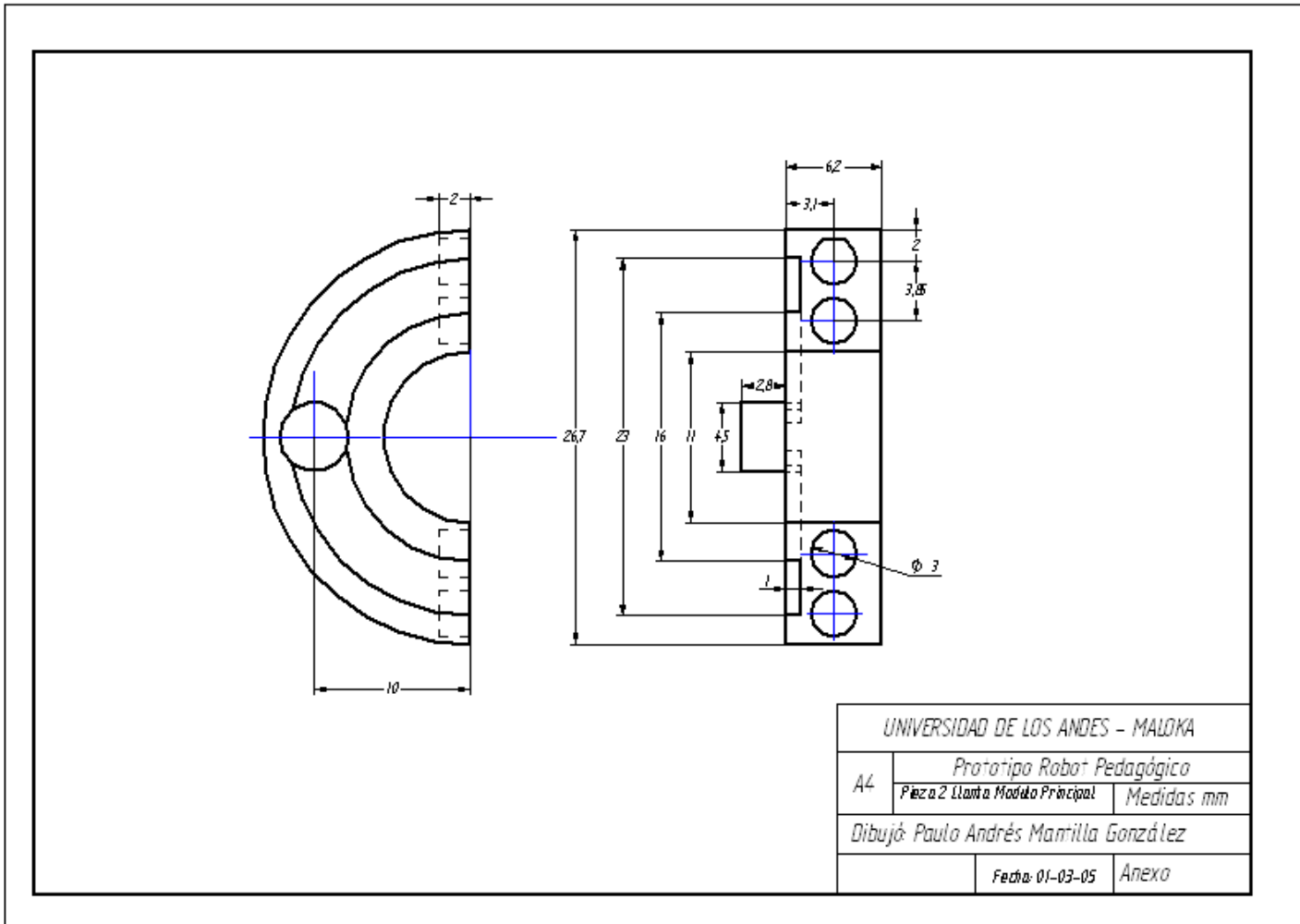


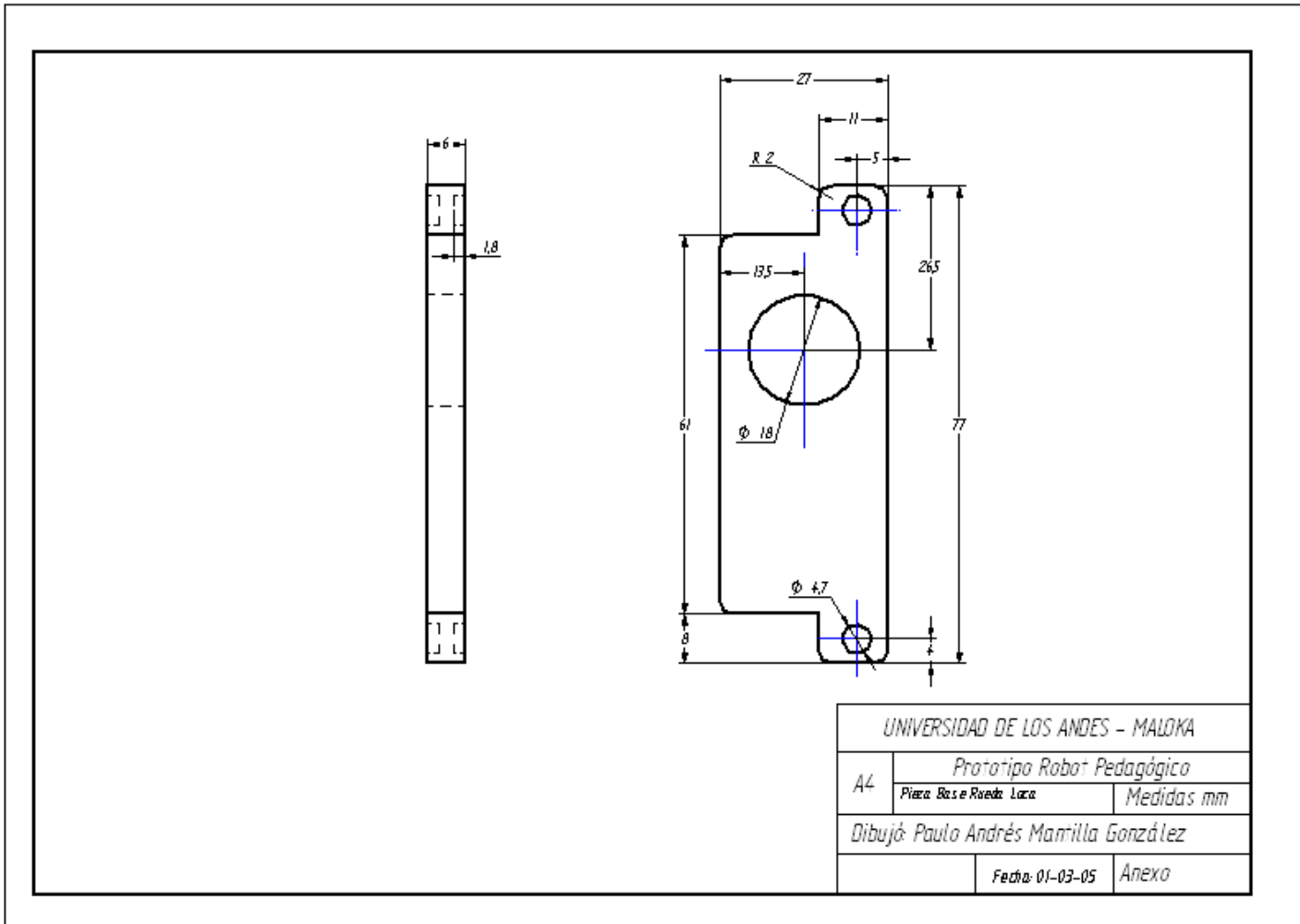


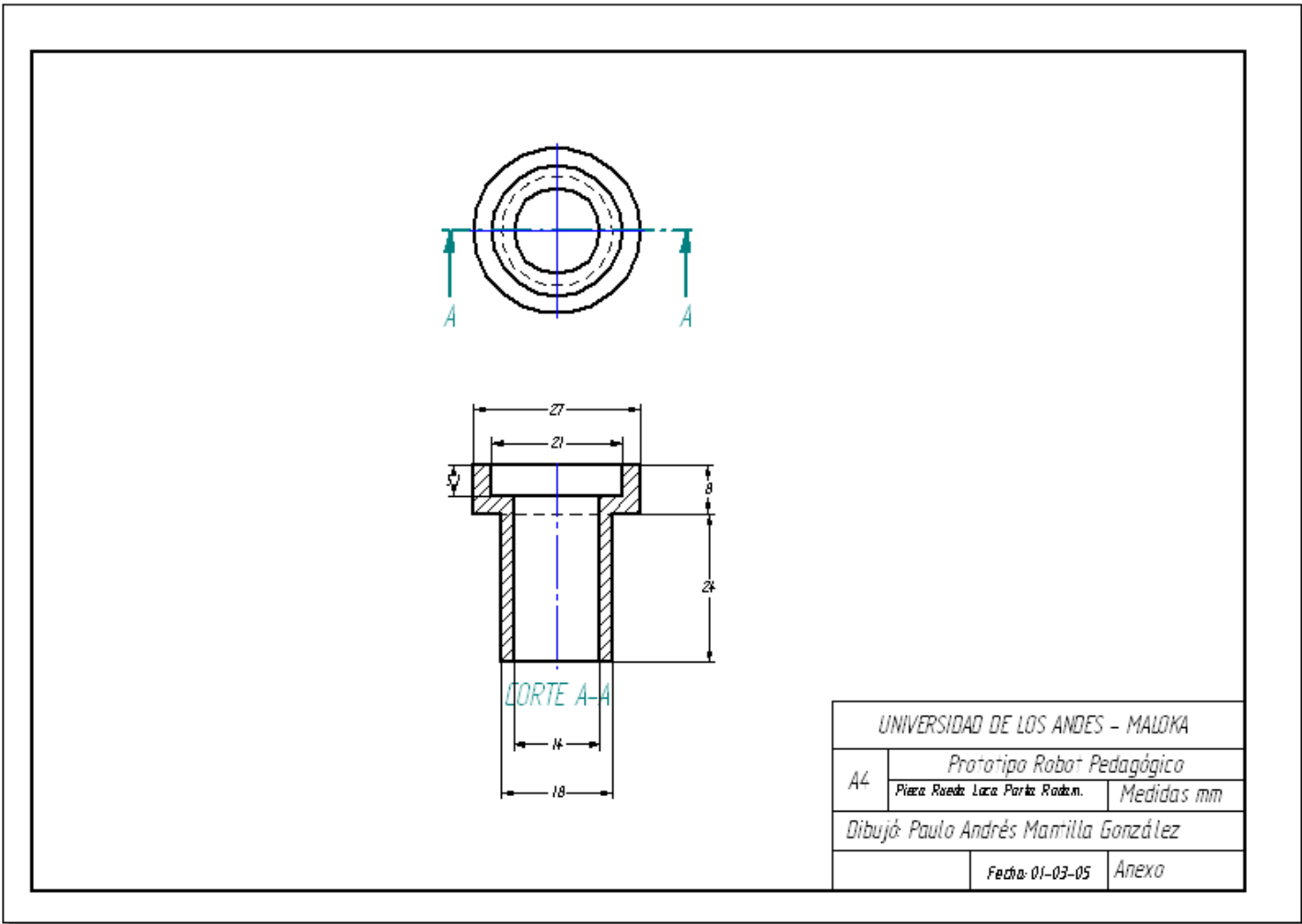












UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - MALOKA		
A4	Prototipo Robot Pedagógico	
	Pieza Rueda Laca Paralel Rodam.	Medidas mm
Dibujó: Paulo Andrés Mamilla González		
	Fecha: 01-03-05	Anexo

