

INFORME TÉCNICO PRÁCTICA EMPRESARIAL
BIONIX
(*Bioelectrónica y Robótica*)

MARÍA KATALINA RUEDA JAIMES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2009

INFORME TÉCNICO PRÁCTICA EMPRESARIAL
BIONIX
(*Bioelectrónica y Robótica*)

MARÍA KATALINA RUEDA JAIMES

Trabajo De Investigación Profesional

Director

Msc. Hernán Gonzales Acuña
Ingeniero Mecatrónico
Docente Facultad de ingenierías Físico Mecánicas

Asesor

Juan Carlos Diaz Forero
Ingeniero Mecatrónico
Director General *BIONIX (Bioelectrónica y Robótica)*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2009

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del director general
Bionix (*Bioelectrónica y Robótica*)

Firma del presidente
Bionix (*Bioelectrónica y Robótica*)

Bucaramanga, 15 Febrero de 2010

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características Técnicas para las principales aleaciones de aluminio....	13
Tabla 2. Tabla de resultados	19
Tabla 3. Tabla de actividades realizadas.....	21
Tabla 4. Especificaciones del robot	27
Tabla 5. Coeficientes de rozamiento estático y dinámico entre del caucho.....	35
Tabla 6. Características técnicas del motor	50
Tabla 7. Datos del motor seleccionado.....	50
Tabla 8. Componentes del robot.....	53
Tabla 9. Elementos de la plataforma	67
Tabla 10. Reglas del Controlador Difuso	75

LISTA DE IMAGENES

	Pág.
Imagen 1. Ubicación de los 4 motores dentro del sistema de tracción	29
Imagen 2. Circuito de potencia del robot	30
Imagen 3. Robot hacia adelante	30
Imagen 4. Robot hacia atrás	31
Imagen 5. Robot giro hacia la izquierda.....	31
Imagen 6. Robot giro hacia la derecha	32
Imagen 7. Identificación de elementos con tracción	32
Imagen 8. Peso total soportado por el robot	33
Imagen 9. Elementos de transmisión de potencia	34
Imagen 10. Distribción del peso total que soporta el robot	37
Imagen 11. Sección a analizar para el cálculo del modelo	37
Imagen 12. Transmisión de potencia en cada motor	38
Imagen 13. Elementos en el sistema de transmisión de potencia	40
Imagen 14. Secuencia de transmisión	41
Imagen 15. Variables involucradas en la secuencia	42
Imagen 16. Variables involucradas en la secuencia	43
Imagen 17. Análisis cinético	45
Imagen 18. Grafica fuerza de rozamiento Vs. Fuerza aplicada	45
Imagen 19. Diagrama de cuerpo libre del robot.....	46
Imagen 20. Contenido del informe	52
Imagen 21. Descripción general de cada elemento	56
Imagen 22. Análisis cinemático del robot.....	57
Imagen 23. Diagrama de Flujo del Simulador.....	60
Imagen 24. Interfaz de usuario	61

Imagen 25. Resultado Simulación Velocidad Idéntica	62
Imagen 26. Resultado Simulación Velocidad Diferente	63
Imagen 27. DVR	66
Imagen 28. Camara PTZ	66
Imagen 29. Análisis tensión estática de la plataforma	68
Imagen 30. Análisis desplazamiento estático de la plataforma.....	69
Imagen 31. Análisis factor de seguridad de la plataforma	70
Imagen 32. Esquema General del Controlador.....	72
Imagen 33. Funciones de Membrecía de la Posición	73
Imagen 34. Funciones de Membrecía de la Velocidad del Motor Derecho.....	73
Imagen 16. Funciones de Membrecía de la Velocidad del Motor Izquierdo.....	74
Imagen 36. Funciones de Membrecía del Voltaje del Motor Derecho.....	74
Imagen 37. Funciones de Membrecía del Voltaje del Motor Izquierdo	75
Imagen 38. Evaluación de Promedios para Cálculo de Salida	76
Imagen 39. Respuesta del Controlador Difuso	76
Imagen 29. Contenido teórico del curso día 1	80
Imagen 30. Contenido teórico del curso día 2	81

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo general.....	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. MARCO TEÓRICO	12
5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS	15
6. SINOPSIS DE LOS RESULTADOS	17
7.1 ABSTRACT	18
Objetivos.....	19
LOGROS	21
ANEXO SOPORTE.....	21
9. DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO ACTUAL DE LOS RESULTADOS	23
10. ACTIVIDADES	24
10.1 ACTIVIDAD 1: ANÁLISIS DOCUMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON TRACCIÓN DIFERENCIAL TIPO ORUGA.....	24
10.1.1 JUSTIFICACIÓN.....	24
10.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
10.1.3 METODOLOGÍA	25
10.1.4 SOLUCIÓN	26
10.2 ACTIVIDAD 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA UN ROBOT MÓVIL CON TRACCIÓN DIFERENCIAL TIPO ORUGA.....	64
10.2.1 JUSTIFICACIÓN.....	64

10.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	64
10.2.3 METODOLOGÍA	64
10.2.4 SOLUCIÓN	65
10.3 ACTIVIDAD 3: DISEÑO DE UN CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD TIPO FUZZY PARA UN ROBOT MÓVIL	71
10.3.1 JUSTIFICACIÓN	71
10.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	71
10.3.3 METODOLOGÍA	71
10.3.4 SOLUCIÓN	72
10.4 ACTIVIDAD 4: DISEÑO Y DIRECCIÓN DE UN CURSO DE ROBÓTICA EDUCACIONAL PARA NIÑOS.....	77
10.4.1 JUSTIFICACIÓN	77
10.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	77
10.4.3 METODOLOGÍA	78
10.4.4 SOLUCIÓN	79
11. CONCLUSIONES	82
12. BIBLIOGRAFÍA	83

1. INTRODUCCIÓN

La empresa obedece a la razón social de **BIONIX** (*Bioelectrónica y Robótica*) con Nit 13.747.551-0 y domicilio en Bucaramanga representada por Héctor Andrés Cruz Ballesteros identificado con la cédula de ciudadanía número 13.747.551 de Bucaramanga.

MISIÓN

BIONIX es una empresa cuyo objetivo esencial es, mediante la innovación y la creatividad, diseñar, comercializar y desarrollar los mecanismos que dentro de la mecatrónica, robótica y la bioelectrónica se ajusten a los requerimientos y necesidades del cliente, sobrepasando, inclusive, sus expectativas. La investigación del medio a nivel nacional e internacional es la base en la realización de nuestros proyectos.

VISIÓN

BIONIX, proyecta convertirse en una empresa reconocida en el área robótica, bioelectrónica y mecatrónica a nivel nacional y latinoamericano; somos la primera empresa de robótica en Santander y queremos hacer de este conocimiento una herramienta potente para el desarrollo de nuestra sociedad.

2. JUSTIFICACIÓN

La práctica empresarial es un semestre académico estipulado dentro del plan de estudios de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Autónoma de Bucaramanga, que busca fundamentalmente integrar a los estudiantes, los docentes y los empresarios en un programa de enseñanza aprendizaje, que contribuya al desarrollo de la academia y su relación con el medio empresarial.

La práctica en la empresa obedece a que **BIONIX** se encuentra posicionada como número uno en Santander en el campo del diseño de soluciones de tipo Mecatrónico, Bioelectrónico y Robótico. Desarrollando robots móviles con aplicaciones en áreas como la publicidad, hospitalidad y seguridad

Debido a que es una empresa estructurada por el cumplimiento de metas, en **BIONIX** se da algo de flexibilidad al estudiante para cumplir con su horario y sus objetivos de la forma que mejor se ajuste a sus necesidades. El proceso de reclutamiento se realiza principalmente a través del Coordinador de Practicas en el área de Ingeniería Mecatrónica. Al ser reclutado, al practicante se le asignan una serie de actividades las cuales quedan bajo su cargo y deben ser completadas dentro de un margen de tiempo. Inicia entonces el proceso de diseño, donde se proponen varias alternativas y se selecciona una en particular, la cual se desarrolla. El estudiante cuenta con el apoyo y seguimiento de la persona encargada de la empresa y del docente tutor de la *UNAB*.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Desarrollar actividades de investigación que permitan el planteamiento y la vinculación a nuevos proyectos.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar, documentar y simular un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga.
- Diseñar y construir una plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga.
- Diseñar un control de posición y velocidad tipo *FUZZY* para un robot móvil.
- Diseñar y dirigir un curso de *ROBÓTICA EDUCACIONAL* para niños.

4. MARCO TEÓRICO

Robot

Manipulador automático servo controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

Robot móvil

Robots que tienen la capacidad de desplazarse empleando ruedas, orugas o patas articuladas.

Robótica educativa

Espacio planteado para los estudiantes para permitir la experimentación con la robótica, basado en aprendizaje activo y constructorista.

Materiales

Al diseñar cualquier tipo de producto o elemento, se debe tener muy presente el material con el que se va a fabricar, pues de sus características dependen las medidas y los factores de seguridad resultantes.

- *Módulo de Elasticidad*

Representa la proporción con la que un material dado se deforma al aplicarle un esfuerzo específico, siempre y cuando este se encuentre dentro de la zona elástica del mismo¹.

- *Fluencia*

¹ Mecapedia. Módulo de Elasticidad [en línea].
<http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/modulo_de_elasticidad.htm> [citado en 25 de Agosto de 2008]

Es la pérdida de la capacidad de un material para recuperar su forma y dimensión inicial luego de suspender la aplicación de una carga determinada.

- Resistencia Última

Es el esfuerzo máximo que puede resistir un material antes de fallar.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen de las características mencionadas anteriormente para las principales aleaciones del aluminio²:

Tabla 1. Características Técnicas para las principales aleaciones de aluminio

Material	Densidad [kg/m³]	Resistencia Última [MPa]	Fluencia [MPa]	Módulo de Elasticidad [Gpa]
Aluminio				
Aleación 1100- H14	2710	110	95	70
Aleación 2014- T6	2800	455	400	75
Aleación 2024- T4	2800	470	325	73
Aleación 5456- H116	2630	315	230	72
Aleación 6061-	2710	260	240	70

² Beer, Ferdinand; Johnston, E. Russel; DeWolf, John. Mecánica de Materiales. Tercera Edición. México D.F: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2004. 790 p.

T6				
Aleación 7075-T6	2800	570	500	72

SolidWorks

Entre la amplia gama de productos ofrecidos por esta compañía, se encuentra el software de dibujo asistido por computador que se utiliza en la empresa a cargo del diseño del prototipo y que por tanto será utilizado en esta investigación. Debido a que es un software intuitivo y a que posee una interfaz de usuario simple y amigable, existe una gran facilidad para manejar este programa. Adicionalmente, cuenta con herramientas sencillas y muy útiles, entre las que se encuentra la tecnología SWIFT que permite editar un modelo en tiempo real al selecciona caras y extruirlas con facilidad. Adicionalmente también cuenta con un analizador de partes llamado *SolidWorks Simulation* que permite seleccionar piezas y atribuirle restricciones y cargas para analizar e identificar vulnerabilidades y puntos críticos. También posee una utilidad para compartir planos y ficheros por correo al convertirlos en archivos *.pdf. Además incorpora herramientas para soldar, para crear moldes, para importar elementos desde internet y para modelar ensamblajes³.

³ SolidWorks. SolidWorks2008 Datasheet [en línea].
 <<http://www.solidworks.com/pages/products/swofficepro/documents/SolidWorks2008datasheet.pdf>> [citado en 25 de Agosto de 2008]

5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Durante la práctica empresarial se lograron realizar diferentes actividades dentro de las cuales debía aplicar diferentes conceptos de diseño mecánico y selección de controladores además de crear y dirigir un curso de robótica educativa para niños entre 4 y 12 años.

La primera actividad consistía en 3 etapas la primera hacia parte de la selección de los motores para movilizar la estructura mecánica, en la segunda se debía modelar en 3D esta misma para así documentar cada uno de sus elementos y facilitar el acceso a la información registrada durante este proceso. Por último se realiza una simulación basada en ecuaciones cinemáticas del robot que facilitaran la estimación de la posición y orientación del robot sin necesidad de utilizar sensores. Los resultados de estas etapas se pueden encontrar en los **ANEXOS A, B y C.**

En la segunda actividad se debía tener en cuenta la aplicación del robot, en este caso se trataba de un sistema móvil de seguridad para aplicaciones de tipo militar. Teniendo en cuenta la funcionalidad del robot y la necesidad de diseñar una plataforma que sostenga y proteja cada uno de los dispositivos inalámbricos y de monitoreo, se diseñó en aluminio una base que cumpliera con dichas especificaciones. Dicha base debía alojar dentro de ella las 4 cámaras PTZ y un gravador de video digital de 8 canales (DVR), además de que su diseño debía ser acoplado a la estructura mecánica del robot. En el **ANEXO D** se puede apreciar el diseño de la base.

La tercera actividad tenía como objetivo principal diseñar un controlador tipo *FUZZY* que permita disminuir la desviación del robot móvil cuando este se traslade

en línea recta, esto a través del control de posición del robot y de la velocidad de sus 2 motores. En el **ANEXO E** se puede observar el diseño del controlador.

Por último se realizó un curso de robótica educativa para niños entre 4 y 12 años, nivel principiante realizado el 24 de Agosto, 7 y 14 de Agosto de 2009 ofrecido por *UB ROBOTICS (Consortio BIONIX-UDI)*. Para llevar a cabo el curso fue necesaria la creación de material didáctico con el cual se pretendía introducir a los estudiantes en los conceptos básicos sobre la robótica. En el Anexo F se puede encontrar la certificación por parte de *UB ROBOTICS*.

6. SINOPSIS DE LOS RESULTADOS

El presente documento resume mi vinculación a la empresa colombiana **BIONIX** (*Bioelectrónica y Robótica*). En forma general, consistió en la documentación de un robot móvil tipo oruga a utilizarse en la inspección de un campo con alta probabilidad de encontrarse minado. También se enfocó en el procedimiento matemático utilizado para obtener las características eléctricas de los motores dc que otorgan al robot la habilidad de desplazarse. La documentación fue realizada a través de *SolidWorks 2009* y los diseños fueron validados en *Simulation Express* (En otras versiones denominado como *CosmoWorks*). Durante la etapa de cálculo, se observó que el desempeño de los motores podría variar. Para verificar el efecto de esta variación se implementó un simulador en Matlab, capaz de graficar la trayectoria estimada del móvil. Derivado de esto, se halló la necesidad de implementar un algoritmo de control de velocidad. Se optó por el método de control difuso y un simulador fue implementado, también en Matlab. Esta investigación surgió como una posible solución para reducir el riesgo al que están expuestos los soldados cuando inspeccionan e intentan dismantelar minas antipersonales.

Entre las actividades realizadas también se encuentra el diseño y dirección de un curso de robótica para niños entre 4 y 12 años. Para finalizar se diseñó una plataforma de pruebas con el fin de facilitar la correcta ubicación de los sistemas de monitoreo. Aunque la construcción de esta base no se llevo a cabo en su totalidad por limitaciones en el presupuesto.

7.1 ABSTRACT

The current document summarizes my internship at BIONIX (Bioelectronics and Robotics). It basically consisted on the documentation of a threaded robot which will be used to inspect a field likely to be mined. It was also focused on the mathematical procedure used to obtain the electrical characteristics of the dc motors which provides the robot with the ability to move. The documentation was realized using SolidWorks 2009 and validated through CosmosWorks. During the calculations, it was observed that the performance of the motors could vary. In order to verify the effect of this variation, a simulator, with the ability to plot the estimated trajectory, was built using Matlab. Derived from it, came the necessity to develop a speed control algorithm. The fuzzy approach was chosen and a simulator was also implemented using Matlab. This research came up as a possible solution to reduce the risk to which the soldiers are exposed when they inspect and attempt to dismantle landmines.

Among the activities I realized there is also a basic course on robotics targeted at children between the age of 4 and 12, and a user handbook for the robot. Even though the platform which was built doesn't fully reflect the original design, the directors of the project authorized it because of budget limitations.

7. CUADRO DE RESULTADOS

A continuación se detalla el cuadro diligenciado, correspondiente a los resultados esperados y obtenidos durante el desarrollo de la estancia profesional.

Tabla 2. Tabla de resultados

Objetivos	Resultados Esperados	Resultados Obtenidos	Ind. Verif. Del Resultado	No. De Anexo Soporte	Observaciones
Analizar un sistema de Transmisión diferencial tipo oruga que permita a un robot trasladarse por el mayor numero de superficies	Selección de motores para la estructura mecánica del robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Modelo que permite seleccionar los motores para la estructura mecánica del robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Ecuación No.20	Anexo A	-----
Seleccionar y documentar los materiales y posibles proveedores de cada una de las partes del sistema de locomoción	Documentación de cada uno de los elementos que componen el sistema de locomoción del robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Informe técnico para la construcción de un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Certificado BIONIX	Anexo G	CONFIDENCIAL
Simular el sistema de locomoción tipo oruga que permita visualizar y	Análisis cinemático y simulación de la trayectoria del sistema de locomoción del	Programa diseñado en MATLAB	Interfaz de usuario y programa en MATLAB	Anexo C	-----

analizar las características de su movimiento	robot móvil con tracción diferencial tipo oruga				
Diseñar y construir una plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Diseño en SolidWorks y construcción de la plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Diseño en SolidWorks de la plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Diseño en Solidworks	Anexo D	CONFIDENCIAL
Diseñar un control de posición y de velocidad tipo FUZZY para un robot móvil	Diseño del controlador tipo FUZZY	Diseño del controlador tipo FUZZY	Controlador tipo FUZZY diseñado en MATLAB	Anexo E	-----
Diseñar y dirigir un curso de Robótica Educativa para niños	Diseño y dirección del curso Nivel principiante	Diseño del material didáctico y dirección del curso durante los días 24 de julio, 7 y 14 de agosto de 2009	Certificado UB - Robotics	Anexo F	CONFIDENCIAL

CUADRO DE ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación se presenta el cuadro resumen referente a las actividades realizadas a lo largo de la práctica profesional.

Tabla 3. Tabla de actividades realizadas

ACTIVIDADES	COMPROMISO ADQUIRIDO	LOGROS	ANEXO SOPORTE
Formación en tareas de ingeniería	Análisis cinético del sistema de locomoción del robot móvil tipo oruga	Modelo para la selección de motores del sistema de locomoción del robot móvil tipo oruga	Anexo A
	Documentación de los materiales y posibles proveedores de cada uno de los elementos que componen el sistema de locomoción diferencial tipo oruga	Informe técnico para la construcción de un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Anexo G
	Simulación del modelo que permita visualizar la posición y orientación del robot.	Interfaz de usuario programa en MATLAB que permite visualizar la posición y orientación del robot y su velocidad lineal.	Anexo C
	Diseño y construcción de una plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Diseño en SolidWorks de una plataforma de pruebas para un robot móvil con tracción diferencial tipo oruga	Anexo D
	Diseño de un control de posición y de velocidad tipo	Diseño del controlador tipo FUZZY en MATLAB	Anexo E

	FUZZY para un robot móvil		
Dirección de cursos de ROBÓTICA EDUCACIONAL para niños	Diseño y dirección del curso nivel principiantes	Diseño del material didáctico y dirección del curso durante los días 24 de julio, 7 y 14 de agosto de 2009	Anexo F

8. DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO ACTUAL DE LOS RESULTADOS

El desarrollo del actual proyecto encuentra su principal aplicación en la protección y el mejoramiento de las condiciones de trabajo para aquellas personas que realizan labores en el área de seguridad ya sea con aplicaciones militares o simplemente para la industria en el monitoreo de bodegas.

También plantea un controlador por medio de lógica FUZZY que permite disminuir los errores en la construcción mecánica del sistema de locomoción diferencial, el cual sin ningún tipo de control genera durante largas trayectorias rectas un ángulo de desviación en el recorrido del robot.

Adicionalmente se creó todo el material referente al curso de Robótica Educativa para niños nivel principiante, que proporciona al estudiante las herramientas básicas y la formación en el área de robótica y electrónica.

9. ACTIVIDADES

10.1 ACTIVIDAD 1: ANÁLISIS DOCUMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON TRACCIÓN DIFERENCIAL TIPO ORUGA

10.1.1 JUSTIFICACIÓN

A medida que la robótica avanza el hombre busca encontrar cada vez mas aplicaciones para los robots, por ejemplo en la robótica para aplicaciones de tipo militar son ya más frecuentes las situaciones en donde se requiere el reconocimiento de ambientes hostiles o el cubrimiento de zonas de alto riesgo y desastre. Esta clase de aplicaciones permiten la teleoperacion de robots desde una central de mando a través de sistemas inalámbricos y cámaras de video, evitando de esta manera la exposición directa con la zona a quien realiza este tipo de actividades.

Es de esta forma como **BIONIX** comienza lo que sería su incursión en el proceso de investigación, desarrollo y comercialización de sistemas de seguridad robóticos, a través del *Diseño y Construcción De Un Robot Móvil para seguridad con aplicaciones de tipo militar.*

Actualmente el proyecto se encuentra en la *fase de investigación y desarrollo mecánico*, en donde se diseña, construye y valida la estructura mecánica conformada a través de un sistema de tracción diferencial por bandas de deslizamiento, entre otros componentes. En esta fase es primordial el análisis, documentación y simulación del mismo, ya que esto facilitara la interpretación de su movimiento y la identificación de cada una de las partes que lo componen.

El **ANEXO A** permite observar las características y dimensiones del robot. De este plano es importante resaltar que en la **ACTIVIDAD No. 1** solo se analizarán, documentarán y simularán los componentes relacionados con la estructura mecánica, permitiendo de esta forma el análisis y descripción de la plataforma de pruebas en la siguiente actividad.

10.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el sistema de tracción diferencial por bandas de deslizamiento, que permita al robot móvil trasladarse por el mayor número de superficies.
- Seleccionar y documentar los materiales y posibles proveedores de cada una de las partes que componen el sistema.
- Simular el modelo cinemático del sistema de tracción diferencial por bandas de deslizamiento.

10.1.3 METODOLOGÍA

A continuación se presenta una tabla que tiene como propósito indicar y describir cada una de las fases demandadas por el proyecto para el cumplimiento de los objetivos específicos.

Tabla 3. Fases de la metodología implementada

FASE	ACTIVIDAD
ANÁLISIS	Análisis cinético y selección de los dispositivos electromecánicos
	Identificación de cada una de las partes que componen la estructura mecánica.
	Determinación de las variables involucradas en el análisis cinemático del modelo mecánico.
DISEÑO	Determinación del modelo final que facilite el análisis y selección de los dispositivos electromecánicos.
	Documentación de cada una de las partes que componen la estructura mecánica.
	Simulación del modelo mecánico en <i>MATLAB</i> a través del análisis cinemático.
FINAL	Identificación del proveedor para la compra de los dispositivos electromecánicos.
	Identificación de los proveedores para la compra de los materiales que conforman la estructura mecánica.

10.1.4 SOLUCIÓN

El robot móvil es un sistema de seguridad gobernado a través de una central de mando, que permite el monitoreo e inspección de ambientes hostiles o el cubrimiento de zonas de alto riesgo y desastre.

Debido a la zona de trabajo en la que realiza sus actividades cuenta con una estructura mecánica construida en Aluminio forjado con tratamiento T6 aleación

2xxx (según norma **AISI-SAE**), lo cual permite un peso de tan solo **25 Kg** y una alta resistencia a la tracción y sobre todo a la corrosión. Los demás elementos están compuestos por caucho y polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW⁴) el cual permite al sistema ser más resistente y tolerante a los cambios de temperatura y velocidad, disminuyendo el desgaste de piezas que se encuentran sometidas a un roce mecánico.

El sistema de tracción es de tipo diferencial por bandas de deslizamiento compuesto por 4 motores cada uno de estos con una potencia de **66 W** y un par de **4,5 N*m**. Cada motor se encuentra acoplado a una etapa de transmisión de potencia por cadena, permitiendo de esta manera al robot desplazarse a una velocidad de **3 m/s**.

El diseño del sistema mecánico permite una mayor capacidad de carga y un seguro desplazamiento por zonas de alta dificultad, junto con las dimensiones que se observan en la siguiente tabla, todas en conjunto facilitan la maniobrabilidad del robot para este tipo de actividades.

Tabla 4. Especificaciones del robot

CARACTERÍSTICA	VALOR
MASA TOTAL <i>[Kg]</i>	20
ANCHO <i>[cm]</i>	47
ALTURA <i>[cm]</i>	24

⁴ Polietileno de ultra alto peso molecular

PROFUNDIDAD <i>[cm]</i>	97
MÁXIMA MASA QUE SOPORTA <i>[Kg]</i>	90

10.1.4.1 ETAPA 1: ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIFERENCIAL TIPO ORUGA QUE PERMITA AL ROBOT TRASLADARSE POR EL MAYOR NUMERO DE SUPERFICIES

A través de un análisis cinético del sistema mecánico es posible determinar los dispositivos electromecánicos adecuados para este tipo de aplicación. Este análisis hace referencia a la determinación de los parámetros necesarios que deben cumplir cada uno de los motores para el correcto funcionamiento del sistema.

Para iniciar el análisis y la determinación del modelo final es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Sistema de tracción

- El sistema de tracción cuenta con 4 motores eléctricos (DC) iguales, ubicados dentro del chasis de la estructura mecánica, tal cual como se muestra en la *Imagen No.1*, alimentados a 24 Volts, y controlados por un circuito de potencia configurado tal cual como se observa en la *magen No.2*:

Imagen 1. Ubicación de los 4 motores dentro del sistema de tracción

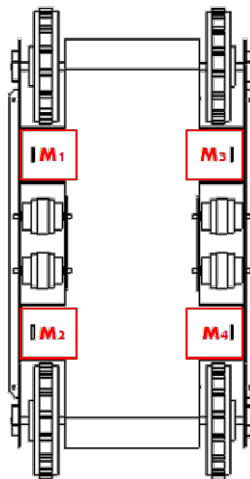


Imagen 2. Circuito de potencia del robot

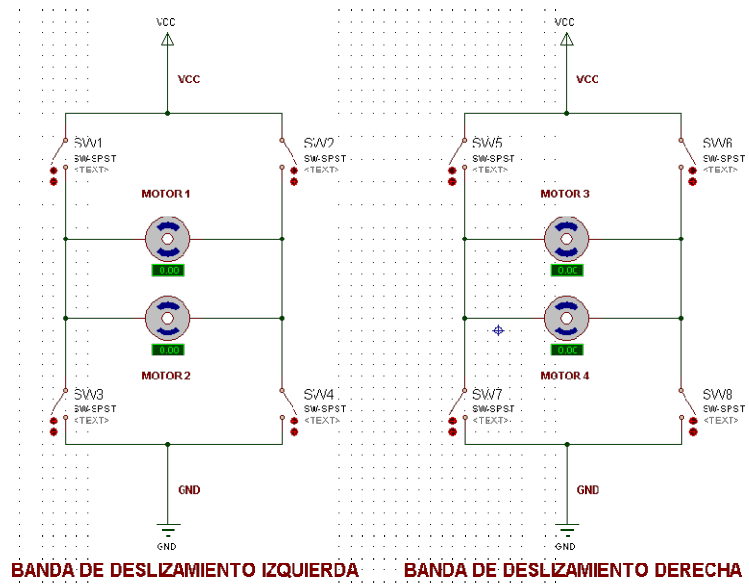


Imagen 3. Robot hacia adelante

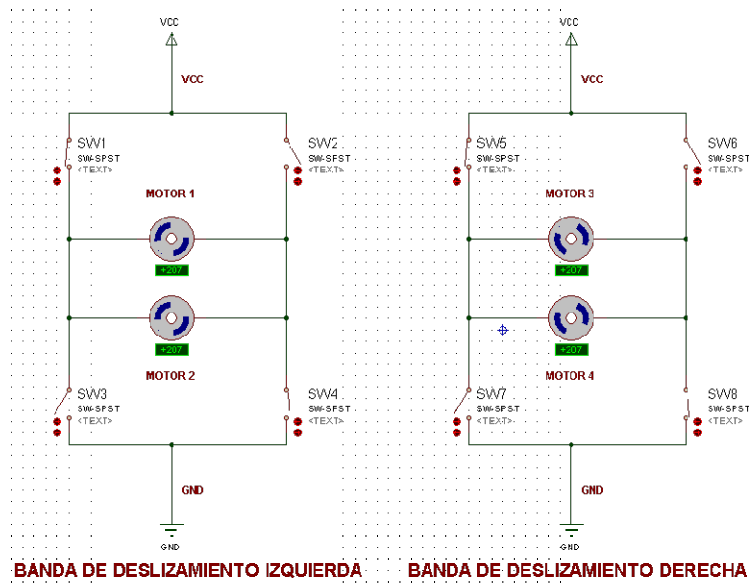


Imagen 4. Robot hacia atrás

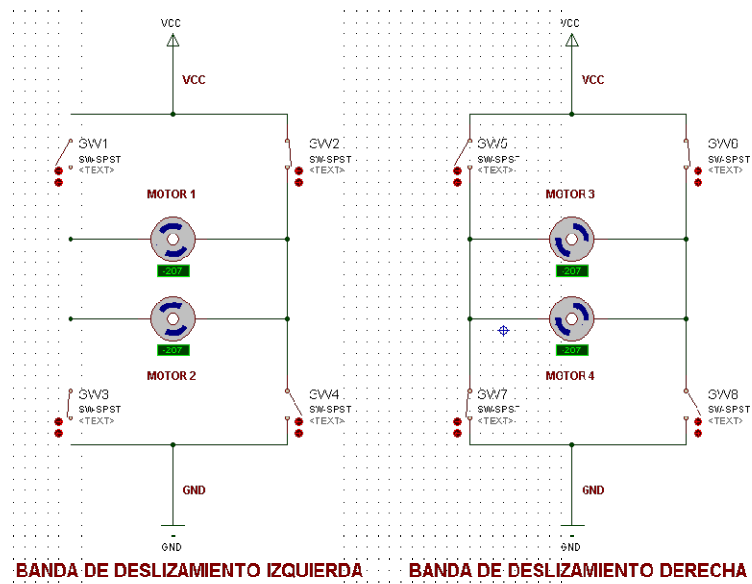


Imagen 5. Robot giro hacia la izquierda

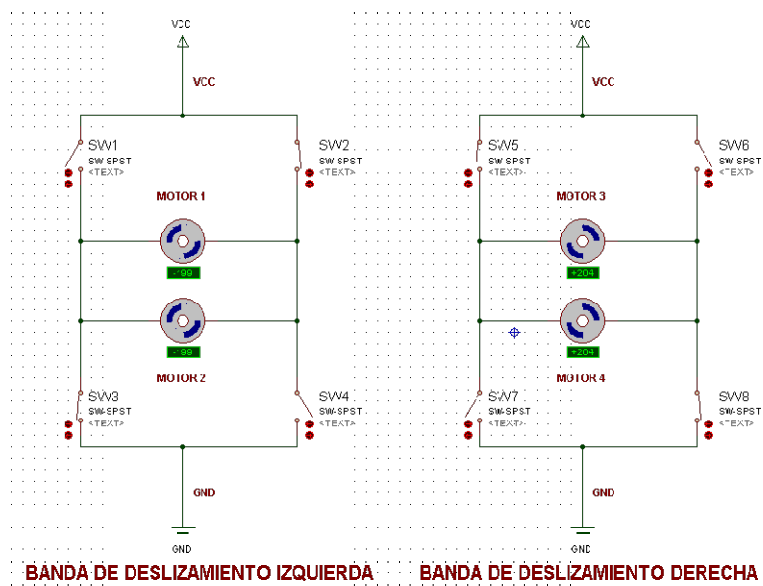
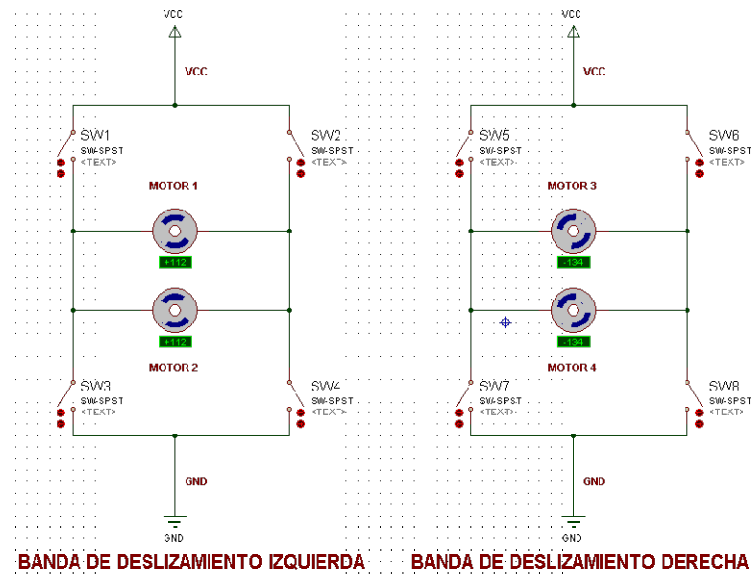
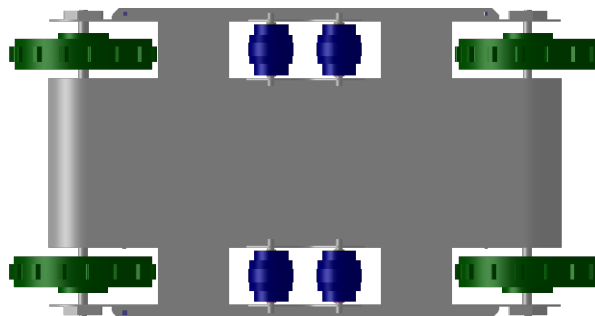


Imagen 6. Robot giro hacia la derecha



- Es importante resaltar que el sistema mecánico tal cual como lo muestra *Imagen No.7* solo tiene tracción en los elementos de color verde, ya que los de color azul solo sirven para apoyar la estructura durante su desplazamiento sobre escaleras.

Imagen 7. Identificación de elementos con tracción

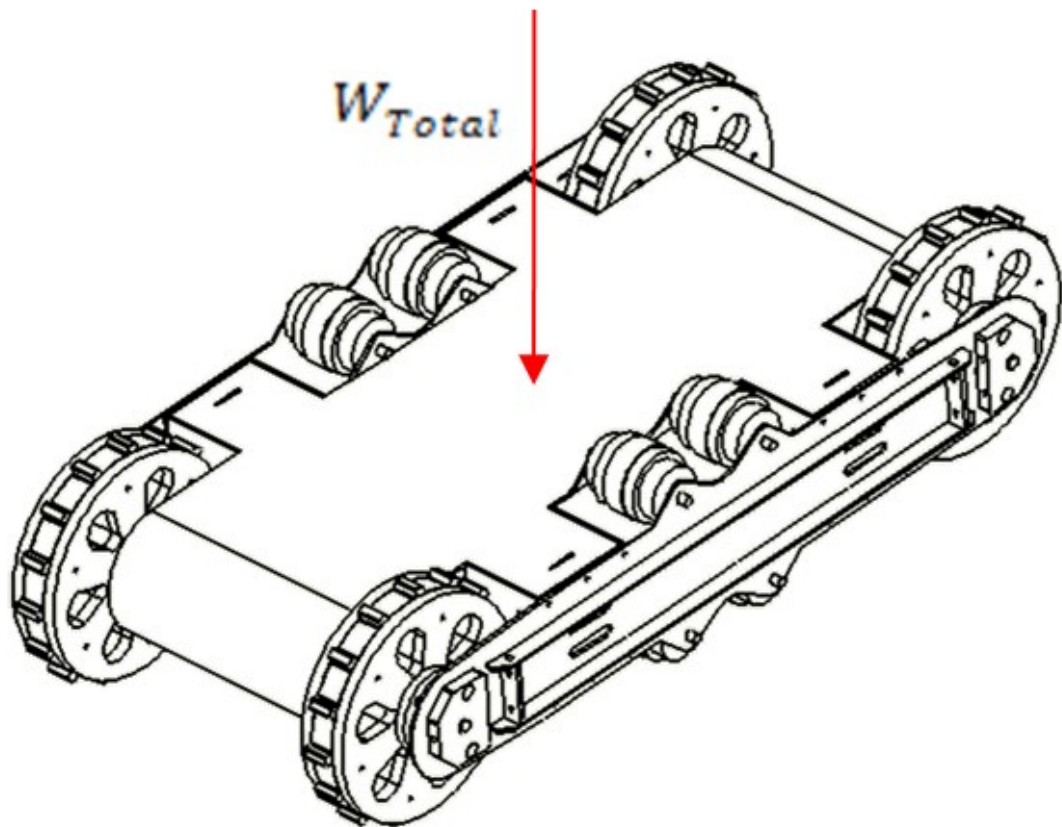


2. Especificación del peso

Es importante tener en cuenta que un dato fundamental para el análisis, es el peso total de la estructura el cual está dado por la ecuación No. 1:

$$W_{Total} = W_{Sistema\ Mecanico} + W_{Adicional} \text{ (Ecuación) 1}$$

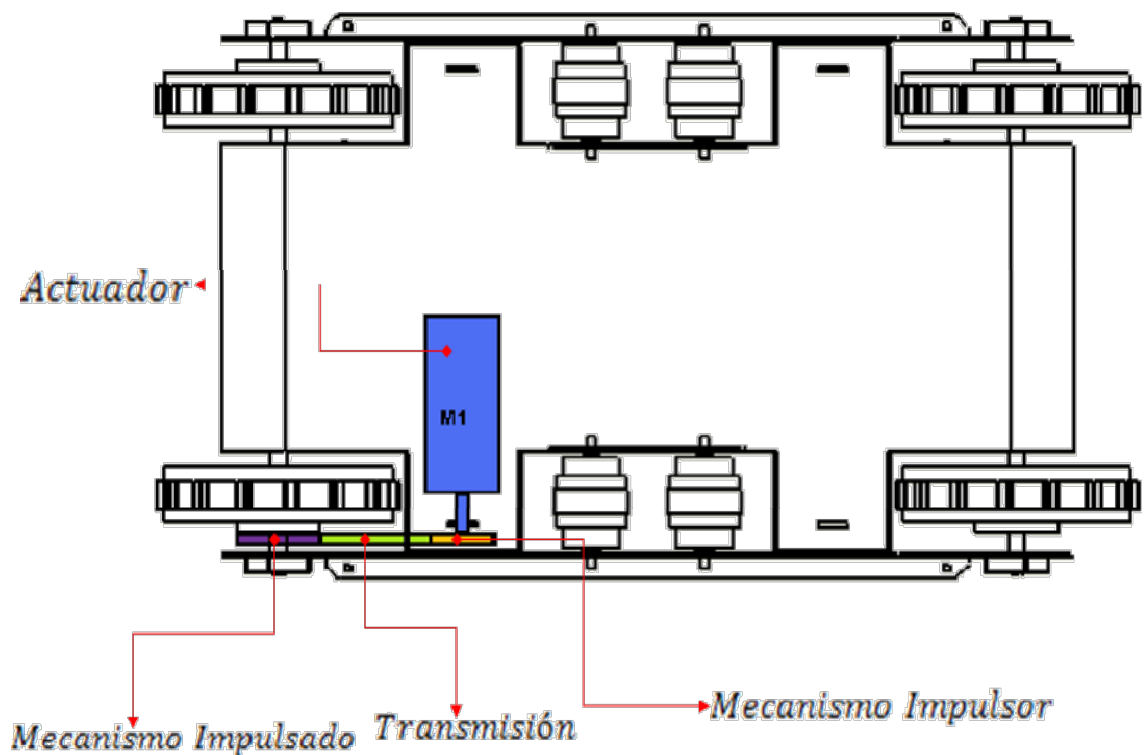
Imagen 8. Peso total soportado por el robot



3. Sistema de transmisión de potencia

Se debe estar seguro del tipo de sistema de transmisión de potencia, ya que la modificación en su configuración o en las especificaciones de sus elementos representa un cambio considerable dentro del análisis, en la *imagen No. 9* se puede identificar que la configuración en el sistema de tracción es una transmisión de potencia tipo cadena:

Imagen 9. Elementos de transmisión de potencia



4. Superficies

Para asegurar el desplazamiento del sistema mecánico a través de la selección de los dispositivos electromecánicos, es necesario realizar un análisis teniendo en cuenta la superficie en la cual se presenta un valor mínimo y máximo de rozamiento entre el caucho y esta misma. En este caso la superficie seleccionada fue el cemento, es posible que existan situaciones o superficies en donde se experimenten valores cercanos a los estimados aquí, pero el modelo restringe los datos en relación con las superficies donde el robot realizara sus aplicaciones.

Para este análisis es necesario tener en cuenta los datos encontrados en la tabla No. 5, Los cuales hacen referencia a los coeficientes estáticos de rozamiento entre el caucho y el cemento (seco y húmedo). Más adelante se mostrara la aplicación de estos conceptos:

Tabla 5. Coeficientes de rozamiento estático y dinámico entre del caucho

MATERIAL	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO
<i>Caucho // Cemento (seco)</i>	<i>1,0</i>
<i>Caucho // Cemento (húmedo)</i>	<i>0,3</i>

Posterior a estas consideraciones es posible proceder al análisis cinético que permitirá la obtención del modelo final:

Los experimentos de Galileo en cuerpos uniformemente acelerados llevaron a Newton (1642-1727) a formular sus leyes de movimiento fundamentales, en las cuales afirma que: "La cinética es el estudio de la relación que existe entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, su masa y el movimiento del mismo. Esta es

utilizada para predecir el movimiento ocasionado por fuerzas dadas, o para determinar las fuerzas que se requieren para producir movimiento” (1). En este caso en especial estudiaremos cuáles son las fuerzas requeridas para darle movimiento al robot.

Los actuadores tienen como objetivo generar movimiento, y las transmisiones junto con los reductores son los elementos encargados de transmitirlo desde los actuadores hasta un eje; Es por esto, que el estudio cinético de la estructura mecánica debe ser precedido por un análisis a los elementos de transmisión de potencia, ya que la configuración y las especificaciones de las mismas permiten calcular la mínima potencia que requiere la estructura para su movimiento.

Teniendo en cuenta los fundamentos dinámicos que planteo Newton e identificando el tipo de transmisión y actuadores adecuados para generar movimiento en la estructura mecánica, es posible plantear un modelo final⁵ que facilite la determinación de dichos dispositivos⁶.

A continuación se presenta un análisis de fuerzas en cada uno de los elementos de transmisión, esto con el propósito de determinar si el torque que proporcionan es suficiente para generar movimiento en el robot. Dicho proceso será planteado teniendo en cuenta solo una sección de la estructura mecánica, tal cual como se muestra en las imágenes No. 10, 11 y 12; Esto con el fin de simplificar los cálculos y teniendo en cuenta que para obtener el modelo final es necesario considerar las secciones restantes.

⁵ Fórmula planteada con el fin de facilitar la selección de actuadores electromecánicos, teniendo en cuenta variables tales como: W_{Total} (*Peso total*), sistema de transmisión de potencia y $T_{Maximo Motor}$ (Torque máximo del motor).

⁶ Dispositivos electromecánicos (Motores).

$$W_{Sección} = \frac{W_{Total}}{4} \text{ (Ecuación) 2}$$

Imagen 10. Distribución del peso total que soporta el robot

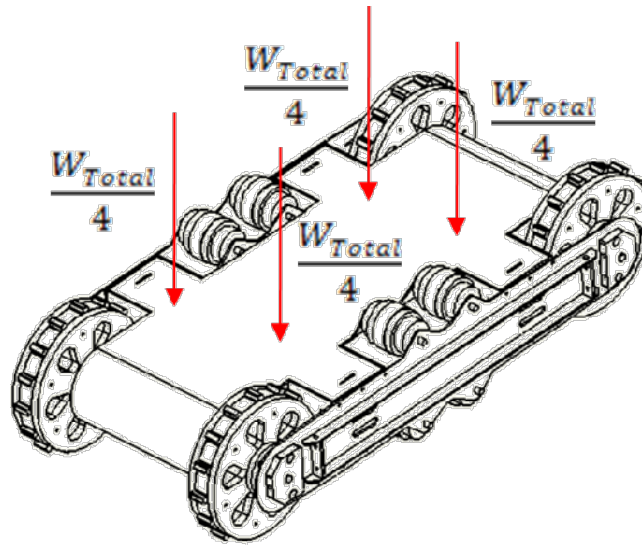


Imagen 11. Sección a analizar para el cálculo del modelo

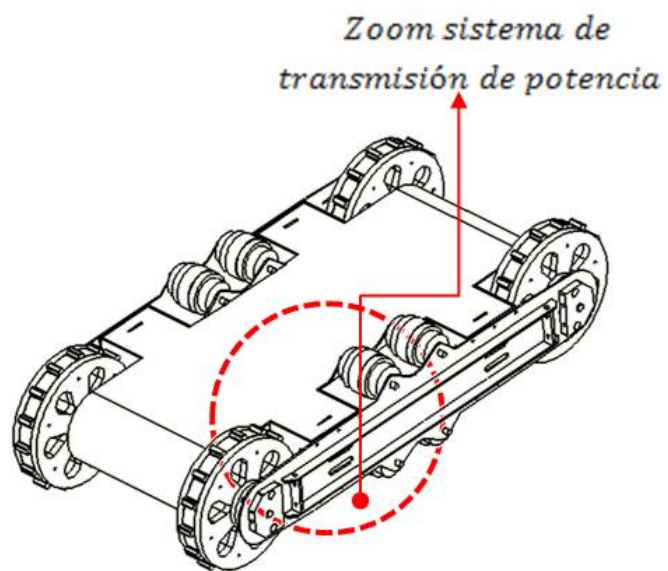
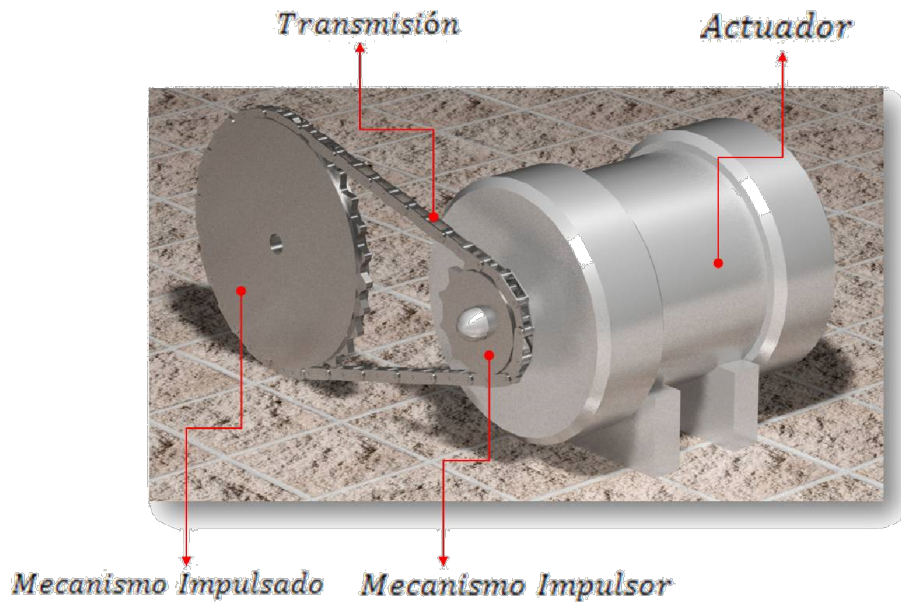


Imagen 12. Transmisión de potencia en cada motor



El torque es la fuerza que producen los elementos en rotación, en este caso el ejercido por la transmisión hacia el sistema de locomoción, el cual será hallado a través del torque mínimo o la menor cantidad de fuerza de giro que deba ejercer el motor para que la velocidad angular en su eje sea mayor de cero; Este dato será comparado posteriormente con el torque máximo que genere determinado motor y este deberá cumplir la siguiente condición descrita en la ecuación No.3

$$\tau_{\text{Mínimo Motor}, [N * m]} \leq \tau_{\text{Máximo Motor}, [N * m]} \text{ (Ecuación) 3}$$

El torque mínimo requerido del motor ($\tau_{\text{Mínimo Motor},}$) debe ser menor o igual a él torque máximo que pueda generar el mismo; Esto teniendo en cuenta que el mayor esfuerzo que deberá ejercer el actuador será cuando la velocidad lineal del robot sea igual a cero.

El análisis será secuencial teniendo en cuenta el orden de transmisión desde el actuador hasta las bandas de deslizamiento, en donde se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Torque mínimo requerido del motor: $(\tau_{\text{Mínimo Motor}})$, $[N * m]$
- Fuerza generada en el diente incidente⁷ del mecanismo impulsor: $(F_{\text{Mecanismo Impulsor}})$, $[N]$
- Radio del mecanismo impulsor: $(R_{\text{Mecanismo Impulsor}})$, $[m]$
- Fuerza generada en el diente incidente⁸ del mecanismo impulsado: $(F_{\text{Mecanismo Impulsado}})$, $[N]$
- Radio del mecanismo impulsor: $(R_{\text{Mecanismo Impulsado}})$, $[m]$
- Torque en el eje de tracción: $(\tau_{\text{Eje de Tracción}})$, $[N * m]$
- Fuerza en el diente incidente⁹ de la rueda dentada: $(F_{\text{Rueda Dentada}})$, $[N]$
- Radio de la rueda dentada $(R_{\text{Rueda Dentada}})$, $[m]$

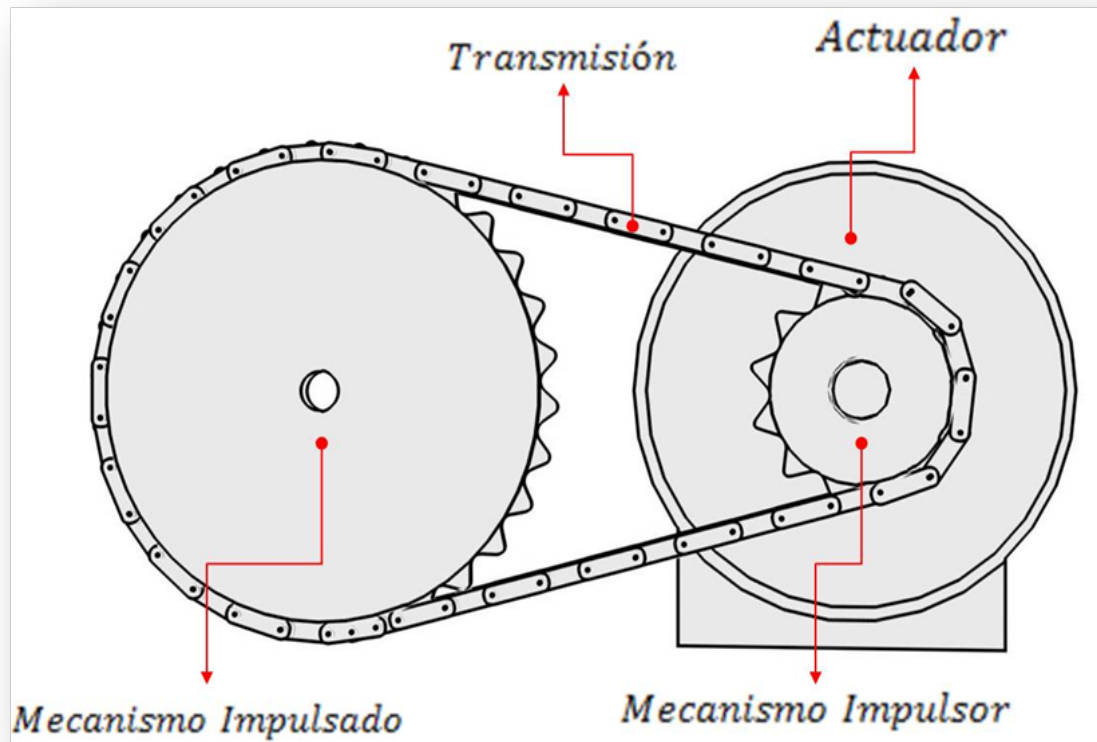
Ya para dar inicio al análisis es necesario tener en cuenta que el sistema de transmisión es de entrada y salida circular, tipo cadena y configuración con distancia ajustable. En la *Imagen No.13* se puede observar la configuración y los elementos de dicha transmisión.

⁷ Contacto entre el diente del mecanismo impulsor y el eslabón de la cadena

⁸ Contacto entre el diente del mecanismo impulsado y el eslabón de la cadena

⁹ Contacto entre el diente de la rueda dentada y la ranura de la banda

Imagen 13. Elementos en el sistema de transmisión de potencia



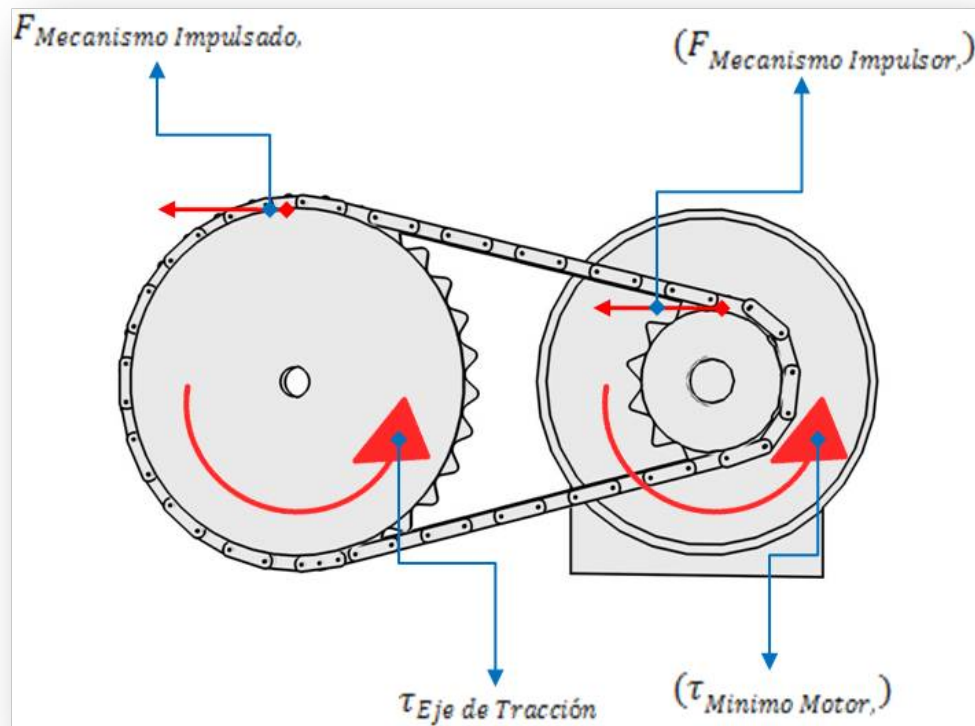
Sus elementos están compuestos por un mecanismo impulsor (Rueda dentada $(\frac{3}{8})$), otro mecanismo impulsado (Rueda dentada $(\frac{3}{16})$) y una cadena de rodillos numero 35¹⁰.

A continuación se presenta la secuencia de transmisión:

¹⁰ Norma ANSI:

1. El mecanismo impulsor recibe directamente desde el eje del motor la potencia mecánica y las fuerzas que interactúan en dicha transmisión son las descritas a través de la *Imagen No.14*

Imagen 14. Secuencia de transmisión



Torque es igual a fuerza por distancia, tal cual como se describe en la ecuación No.4

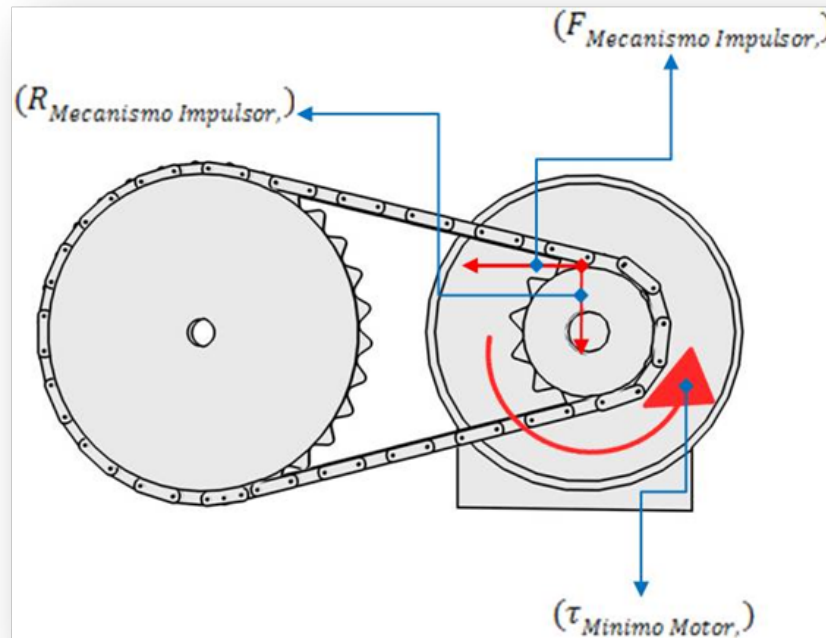
$$\tau [N * m] = \text{Fuerza} [N] * \text{Distancia} [m] \text{ (Ecuación) 4}$$

Por lo tanto la fuerza en el diente del mecanismo impulsor ($F_{Mecanismo Impulsor,}$) justo en el instante en que el actuador se energiza, es igual al torque mínimo requerido del motor ($\tau_{Mínimo Motor,}$) dividido por el radio del mecanismo impulsor ($R_{Mecanismo Impulsor,}$), descrito en la ecuación No.5

$$F_{Mecanismo Impulsor,} [N * m] = \frac{\tau_{Mínimo Motor,} [N * m]}{R_{Mecanismo Impulsor,} [m]} \text{ (Ecuación) 5}$$

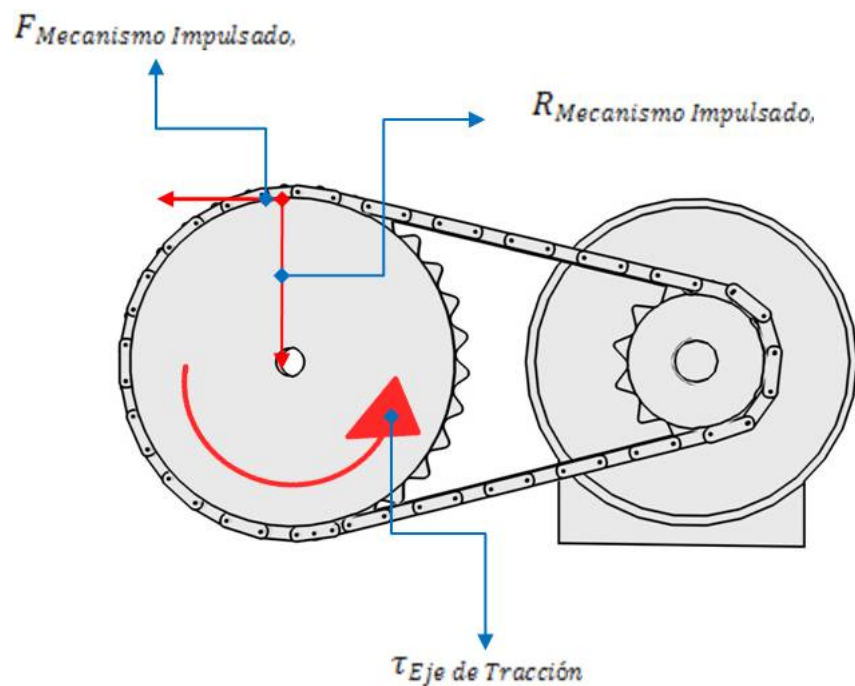
En la Imagen No. 15 se pueden observar las variables que hacen parte de dicha secuencia:

Imagen 15. Variables involucradas en la secuencia



- Debido a que el sistema de transmisión es por medio de una cadena es posible asumir que la fuerza del mecanismo impulsor $F_{\text{Mecanismo Impulsor}}$ es igual en magnitud a la fuerza en el mecanismo impulsado ($F_{\text{Mecanismo Impulsado}}$).
- Teniendo la fuerza del mecanismo impulsado ($F_{\text{Mecanismo Impulsado}}$) se halla el torque en el eje de tracción ($\tau_{\text{Eje de Tracción}}$) identificado en la Imagen No.16 y descrito en la ecuación No.6

Imagen 16. Variables involucradas en la secuencia



$$\tau_{\text{Eje de Tracción}} [N * m] = F_{\text{Mecanismo Impulsado}} [N] * R_{\text{Mecanismo Impulsado}} [m]$$

(Ecuación) 6

4. Por último a través del torque en el eje de tracción ($\tau_{Eje\ de\ Tracción}$), es posible hallar la fuerza en el diente incidente de la rueda dentada ($F_{Rueda\ Dentada}$). Tal cual como se describe en la ecuación No.7

$$F_{Rueda\ Dentada} [N] = \frac{\tau_{Eje\ de\ Tracción} [N \cdot m]}{R_{Rueda\ dentada} [m]} \quad (\text{Ecuación})\ 7$$

La fuerza de la rueda dentada ($F_{Rueda\ Dentada} [N]$) debe ser igual o mayor que la fuerza de rozamiento ($F_{rozamiento} [N]$) entre la banda y la superficie, condición descrita en la ecuación No.8:

$$F_{rozamiento} [N] \leq F_{Rueda\ Dentada} [N] \quad (\text{Ecuación})\ 8$$

Ya para finalizar la primera parte del análisis consideramos las 4 secciones de la estructura y obtenemos el primer modelo, tal cual como se describe en la ecuación No. 9.

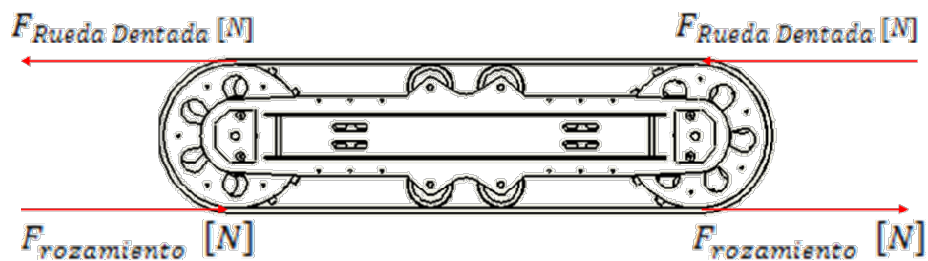
$$\tau_{Mínimo\ Motor} [N \cdot m] = \left[\left(\frac{(F_{Rueda\ Dentada} [N]) \cdot (R_{Rueda\ Dentada} [m])}{R_{Mecanismo\ Impulsado} [m]} \right) \cdot R_{Mecanismo\ Impulsor} [m] \right]$$

(Ecuación) 9

En este caso se halló el torque mínimo ($\tau_{Mínimo\ Motor}$) que necesita la estructura para que su velocidad lineal sea mayor de cero. Esto teniendo en cuenta que lo que se desea determinar a través del modelo es el mínimo torque que requiere la estructura para salir de la inercia, y con el fin de facilitar la selección del actuador es necesario asegurarse de que el torque máximo del motor ($\tau_{Máximo\ Motor}$) sea mayor que el torque mínimo requerido por la estructura, tal cual como lo describe la ecuación No.3.

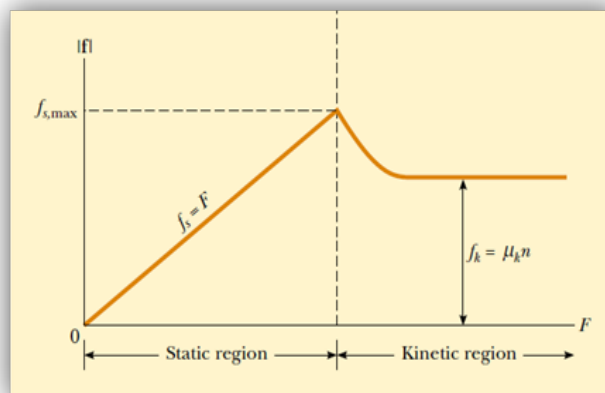
La fuerza de fricción es la resistencia al movimiento que existe entre las bandas de deslizamiento y la superficie, tal cual como se muestra en la figura No.10

Imagen 17. Análisis cinético



La fuerza de rozamiento puede ser estática o dinámica. En el instante en que la fuerza ejercida por las ruedas sobre las bandas de deslizamiento iguale y sobrepase la región de corte descrita en la figura No.11, es posible deducir que el robot ya se encuentra en movimiento.

Imagen 18. Grafica fuerza de rozamiento Vs. Fuerza aplicada

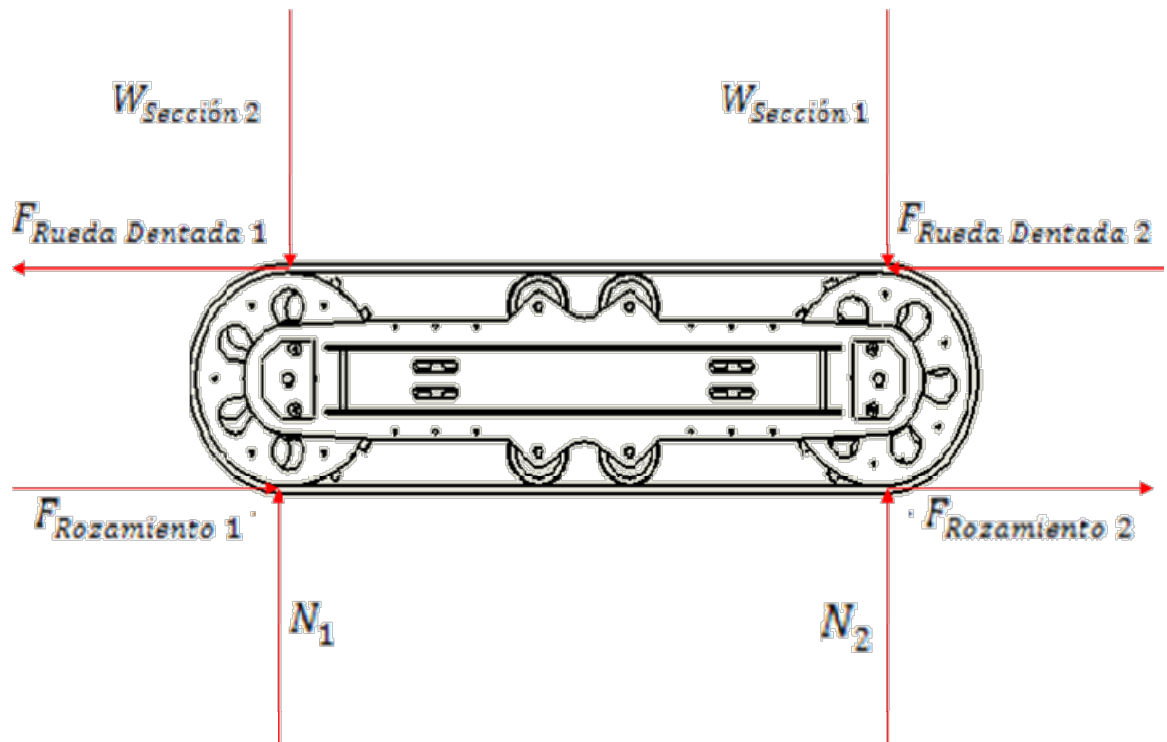


Por esto para finalizar el análisis cinético se tendrá en cuenta las deducciones previamente planteadas en el sistema de transmisión, y a su vez se complementaran considerando el concepto de fuerza de rozamiento sobre un objeto, de la siguiente manera:

$$F_{\text{Rozamiento Estático}} [N] \leq F_{\text{Rueda Dentada}} [N] \text{ (Ecuación) 10}$$

A continuación en la Imagen No.19 se presenta el diagrama de cuerpo libre de la estructura mecánica:

Imagen 19. Diagrama de cuerpo libre del robot



Se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje “X” y en el eje “Y” para de esta forma determinar la fuerza de rozamiento estático ($F_{Rozamiento\ Estático}$) teniendo en cuenta el peso total del sistema (W_{Total}).

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{Rueda\ Dentada\ 1} + F_{Rueda\ Dentada\ 2} - F_{Rozamiento\ 1} - F_{Rozamiento\ 2} = 0 \quad (\text{Ecuación } 11)$$

$$F_{Rueda\ Dentada\ 1} + F_{Rueda\ Dentada\ 2} = F_{Rozamiento\ 1} + F_{Rozamiento\ 2} \quad (\text{Ecuación } 12)$$

$$F_{Rozamiento} = F_{Rueda\ Dentada} = \mu_{Estático} * N \quad (\text{Ecuación } 13)$$

$$F_{Rueda\ Dentada\ 1} + F_{Rueda\ Dentada\ 2} = \mu_{Estático} (N_1 + N_2) \quad (\text{Ecuación } 14)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N_1 + N_2 - W_{Sección\ 1} - W_{Sección\ 2} = 0 \quad (\text{Ecuación } 15)$$

$$N_1 + N_2 = W_{Sección\ 1} + W_{Sección\ 2} \quad (\text{Ecuación } 16)$$

$$N_1 + N_2 = W_{Sección\ 1} + W_{Sección\ 2} = \frac{W_{Total}}{2} \quad (\text{Ecuación } 17)$$

$$N = \frac{W_{Total}}{4} \quad (\text{Ecuación } 18)$$

Teniendo dichas ecuaciones basadas en el análisis de la transmisión y de la estructura mecánica, se procede a reemplazar para de esta forma llegar al modelo final:

Reemplazando ecuación No.13 en la ecuación No.9

$$\tau_{\text{Mínimo Motor}} [N * m] = \left[\left(\frac{(\mu_{\text{Estático}} * N [N]) * (R_{\text{Rueda Dentada}} [m])}{R_{\text{Mecanismo Impulsado}} [m]} \right) * R_{\text{Mecanismo Impulsor}} [m] \right]$$

(Ecuación) 19

Reemplazando ecuación No.18 en la ecuación No.19

$$\tau_{\text{Mínimo Motor}} [N * m] = \left[\left(\frac{(\mu_{\text{Estático}} * \frac{W_{\text{Total}} [N]}{4}) * (R_{\text{Rueda Dentada}} [m])}{R_{\text{Mecanismo Impulsado}} [m]} \right) * R_{\text{Mecanismo Impulsor}} [m] \right]$$

(Ecuación) 20

Por último se obtiene el modelo final con el cual es posible determinar el torque mínimo ($\tau_{\text{Mínimo Motor}}$) requerido por cada actuador. A continuación se presenta la aplicación del modelo teniendo en cuenta los siguientes datos:

1. Peso total del sistema: Se tiene en cuenta tanto el peso de la estructura mecánica como el de los elementos que se encuentran sobre esta.
 - Peso adicional ($W_{\text{Adicional}} = 20 \text{ Kg} * 9,8 \frac{m}{s^2} = 196 \text{ N}$)
 - Peso sistema mecánico ($W_{\text{Sistema Mecánico}} = 10 \text{ Kg} * 9,8 \frac{m}{s^2} = 98 \text{ N}$)

$$W_{Total} = 196 N + 98 N = 294 N$$

2. Dimensiones de los elementos de transmisión: Las dimensiones de los elementos de transmisión influyen directamente en el torque generado por el actuador, es por esto que se tienen en cuenta dentro del análisis.

- Radio del mecanismo impulsado ($R_{Mecanismo Impulsado}$) = 0,45 m
- Radio del mecanismo impulsor ($R_{Mecanismo Impulsor}$) = 0,25 m
- Radio de la rueda dentada ($R_{Rueda Dentada}$) = 0,11 m

3. Aplicación del modelo: A través de la ecuación No. 20 es posible determinar el torque mínimo ($\tau_{Minimo Motor}$) requerido del motor para generar movimiento en el robot.

$$\tau_{Minimo Motor} [N * m] = \left[\left(\frac{(1,0 * \frac{294}{4} [N]) * (0,11 [m])}{0,45 [m]} \right) * 0,25 [m] \right] = 4,49 N * m$$

4. Selección del motor: Por último se compara el valor del torque mínimo requerido del motor ($\tau_{Minimo Motor}$) con el torque máximo que puede proporcionar este mismo ($\tau_{Maximo Motor}$), valor que se puede encontrar en la hoja de datos del actuador.

En la ecuación No.3 se observa la condición con la cual se puede determinar la referencia del motor que cumple con dichas especificaciones.

$$\tau_{Minimo Motor}, [N * m] \leq \tau_{Maximo Motor}, [N * m] \text{ (Ecuación) 21}$$

$$4,49 [N * m] \leq 4,5 [N * m] \text{ (Ecuación) 22}$$

A continuación la siguiente tabla No. 6 se presentan las características técnicas del motor seleccionado:

Tabla 6. Características técnicas del motor

CARACTERÍSTICA (Valores máximos)	VALOR
<i>Voltaje</i>	24 [Volts]
<i>Velocidad Angular</i>	36 [RPM]
<i>Corriente de funcionamiento</i>	1.75 [AMPERES]
<i>Máxima corriente</i>	5.6 [AMPERES]
<i>Potencia eléctrica</i>	58.6 [Watts]
<i>Torque máximo</i>	4,5 [N* m]

Ya para concluir la selección del actuador en la tabla No.8 se presentan algunos datos del motor seleccionado:

Tabla 7. Datos del motor seleccionado

TIPO DE DATO (MOTOR)	INFORMACIÓN
<i>Marca</i>	IG-52GM
<i>Referencia</i>	Tipo 01 & 02
<i>Relación</i>	1:150
<i>Proveedor</i>	Hiperdroids Robots
<i>Valor</i>	\$300.000

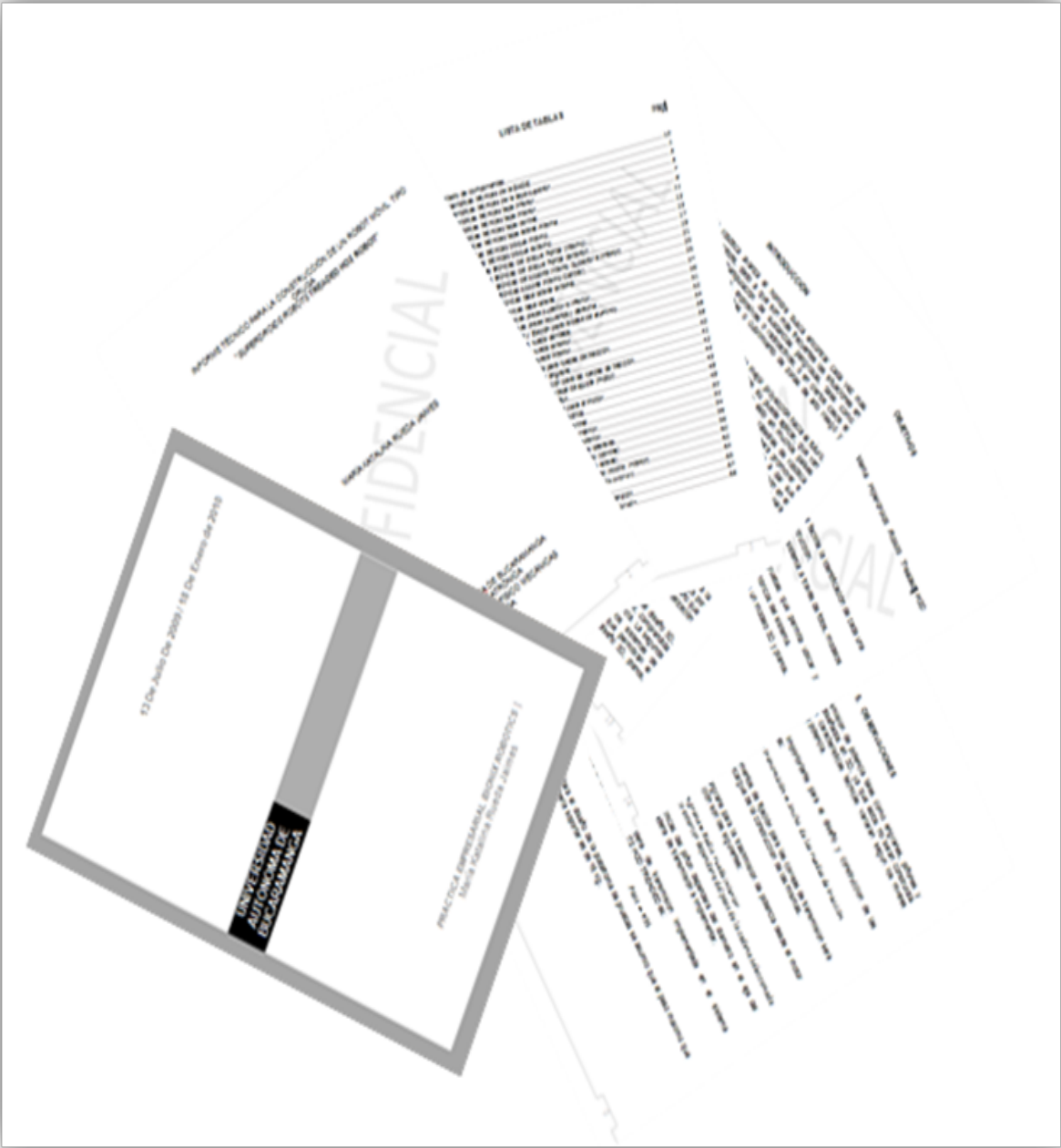
10.1.4.2 ETAPA2: SELECCIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LOS MATERIALES Y POSIBLES PROVEEDORES DE CADA UNA DE LAS PARTES DEL SISTEMA DE LOCOMOCIÓN

La fase de investigación y desarrollo de este proyecto está compuesta por un gran número de ciclos, entre las que se encuentra el diseño y construcción de la estructura mecánica. Culminando esta etapa, es fundamental generar una documentación digital que incluya inventario de piezas, fotos, modelado 3D y planos, en aras de acceder fácilmente a la información registrada durante el proceso. Es por lo anterior que este trabajo busca crear un manual de diseño que permita al grupo de investigación acceder a datos necesarios para la realización de etapas posteriores y que facilite la producción en masa de este tipo de sistemas.

El manual técnico permite además consultar y analizar datos como dimensiones, materiales y peso de cada uno de los elementos que componen la estructura mecánica del robot. La información de este trabajo es de uso exclusivo de la empresa por lo tanto en esta actividad tan solo se describirá el contenido del informe. El manual fue diseñado como un informe técnico de un trabajo de investigación profesional según lo determina el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación **ICONTEC**.

En la Imagen No.20 se puede observar el cuerpo del manual técnico, el cual se encuentra compuesto por una portada donde se referencia el autor y el título del informe, una lista de imágenes y tablas, una introducción que permite identificar el contenido y unos objetivos que describen claramente el propósito del mismo.

Imagen 20. Contenido del informe



La estructura mecánica está compuesta por 32 elementos tal cual como se muestra en la tabla No. 8. Es así como en el informe se describe cada uno de estos elementos a través de fotos, modelado en 3D y planos, como se puede observar en la Imagen No. 21 en la cual se describe la base de aluminio.

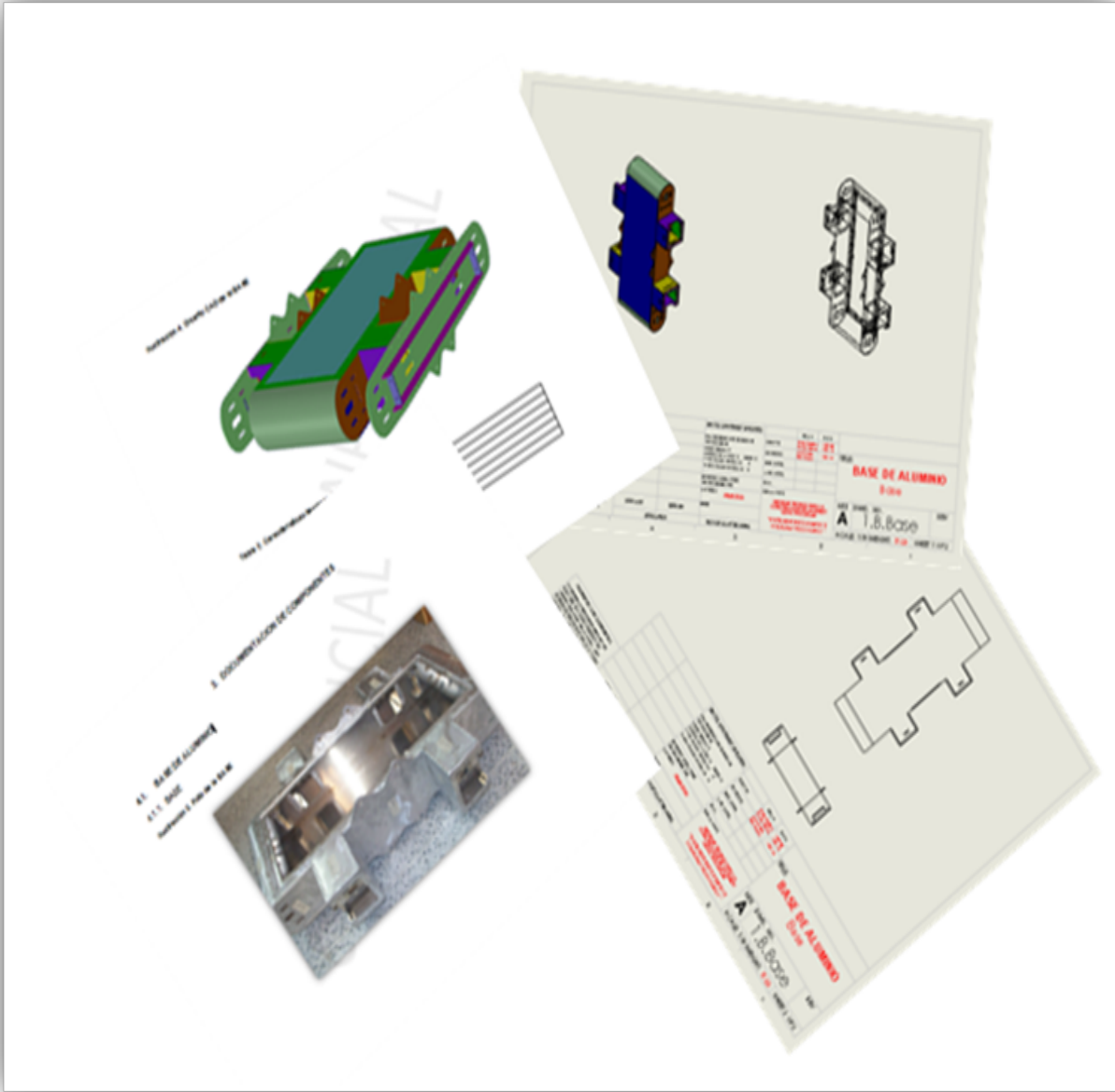
Tabla 8. Componentes del robot

No.	ELEMENTO	MATERIAL	CANT.	PROVEEDOR
1	<i>BASE</i>	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.1	Tapa Superior	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.2	Tapa Inferior	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.3	Tapa Interior	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.4	Tapa Central	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.5	Tapa Lateral Interna	Aluminio forjado 2004	1	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.6	Bloque Interno	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.7	Bloque Externo	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.8	Bloque Frontal (Interno)	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.9	Bloque Frontal (Externo)	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>

1.10	Soporte Interno (Superior e Inferior)	Aluminio forjado 2004	8	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
1.11	Soporte Interno (Central)	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
2	TAPA LATERAL EXTERNA	Aluminio forjado 2004-T6	2	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
2.1	Tapa lateral externa	Aluminio forjado 2004	2	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
2.2	Pieza superior e inferior	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
2.3	Pieza izquierda y derecha	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
	RUEDAS DE TRACCION			
3	Rueda Dentada	UHMW (Polietileno de ultra alto peso molecular)+ Caucho	4	<i>PORTY-CAUCHOS, Imporcauchos.</i>
4	Rueda Exterior	UHMW (Polietileno de ultra alto peso molecular)	8	<i>D'CALIXTO-Polietileno</i>
5	Rueda Interior	UHMW (Polietileno de ultra alto peso molecular)	4	<i>D'CALIXTO-Polietileno</i>
6	Eje Para Ruedas De Tracción	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
7	Engrane	-	4	-
	MOTOR Y CADENA			
8	Tapa de ajuste	Aluminio	4	<i>Ferroaluminios,</i>

	(Motor)	forjado 2004		<i>Aluminio Nacional S.A.</i>
9	Piñon	-	4	-
	RODILLOS			
	Eje De Rodillos	Aluminio forjado 2004	8	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>
10	Rodillo Central	UHMW	8	<i>PORTY-CAUCHOS, Imporcauchos.</i>
11	Rodillo Interior	UHMW + Caucho	8	<i>PORTY-CAUCHOS, Imporcauchos.</i>
12	Rodillo Exterior	UHMW + Caucho	8	<i>PORTY-CAUCHOS, Imporcauchos.</i>
13	Rodillos Laterales	UHMW	16	<i>D'CALIXTO-Polietileno</i>
14	Buje (Rodillo Central)	Bronce	8	<i>Todo Bronces</i>
15	Buje (Rodillo Lateral)	Bronce	16	<i>Todo Bronces</i>
16	Buje Con Cubo (Rodillo Interior)	Bronce	8	<i>Todo Bronces</i>
17	Buje Con Cubo (Rodillo Exterior)	Bronce	8	<i>Todo Bronces</i>
	BLOQUES DE TENSION			
18	Bloques de tensión	Aluminio forjado 2004	4	<i>Ferroaluminios, Aluminio Nacional S.A.</i>

Imagen 21. Descripción general de cada elemento



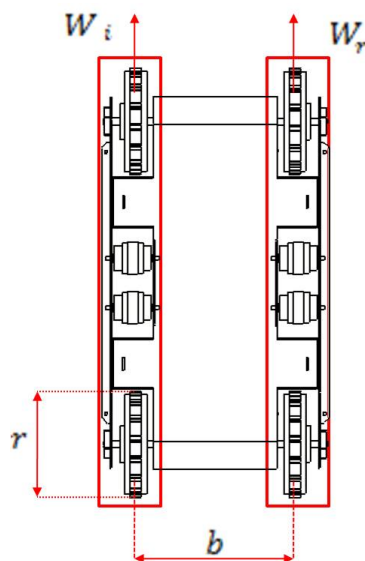
10.1.43 ETAPA 3: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE LOCOMOCIÓN TIPO ORUGA QUE PERMITA VISUALIZAR Y ANALIZAR LAS CARACTERÍSTICAS DE SU MOVIMIENTO

El objetivo de esta actividad se basa en la simulación del comportamiento del robot por medio del desarrollo e implementación de ecuaciones cinemáticas sin incorporar aspectos de tipo dinámicos.

La simulación fue programada en MATLAB en donde a través de una interfaz de usuario es posible visualizar la trayectoria y velocidad lineal del robot, el cual será modelado cinemáticamente como un mecanismo de guiado diferencial.

Las variables de control de un robot con mecanismo diferencial son las velocidades angulares de las ruedas laterales, como se observa en la Imagen No. 22. Si el radio de la rueda es r , las velocidades lineales correspondientes son $V_i = r W_i$ y $V_d = r W_d$. En este caso, la velocidad lineal y la velocidad angular correspondientes al vehículo vienen dadas por las ecuaciones No. 23 Y 24:

Imagen 22. Análisis cinemático del robot



$$v = \frac{V_d + V_i}{2} = \frac{(W_d + W_i) * r}{2} \quad \text{(Ecuación) 23}$$

$$W = \frac{V_d - V_i}{b} = \frac{(W_d + W_i) * r}{b} \quad \text{(Ecuación) 24}$$

Siendo b la vía del vehículo (distancia que separa las dos ruedas motrices). Por consiguiente, si se especifican la velocidad lineal v y la angular w del vehículo, las velocidades de giro que hay que aplicar a las ruedas derecha e izquierda son:

$$W_i = \frac{v - (b/2) * w}{r} \quad \text{(Ecuación) 25}$$

$$W_d = \frac{v + (b/2) * w}{r} \quad \text{(Ecuación) 26}$$

La evolución de las variables características del modelo se puede expresar como:

$$x' = \frac{-r * \text{sen } \phi}{2} W_i - \frac{r * \text{sen } \phi}{2} W_d \quad \text{(Ecuación) 27}$$

$$y' = \frac{r * \text{cos } \phi}{2} W_i + \frac{r * \text{cos } \phi}{2} W_d \quad \text{(Ecuación) 28}$$

$$\phi' = \frac{-r}{b} W_i + \frac{r}{b} W_d \quad \text{(Ecuación) 29}$$

Mediante la integración de estas ecuaciones se puede obtener la evolución del vector de postura en el tiempo, que es lo que interesa conocer para tener una estimación de la posición y orientación del vehículo en cada instante.

La simulación fue programada en **MATLAB** por lo tanto la integración numérica de dichas ecuaciones se puede llevar a cabo de una forma simplificada teniendo en cuenta que los valores de las variables que intervienen se mantienen constantes en el periodo de muestreo (recordamos que el control del robot se lleva a cabo desde el microprocesador que lleva a bordo) y que en tiempo discreto la integral se puede aproximar por una suma y la derivada por un incremento.

Partiendo de unos valores iniciales del vector postura (x_0, y_0, f_0), se puede resolver la ecuación anterior de forma recursiva:

$$x(k+1) = x(k) - \left(\frac{T}{2}\right) * r * \text{sen}(\phi(k)) * (W_d(k) + W_i(k)) \quad \text{(Ecuación) 30}$$

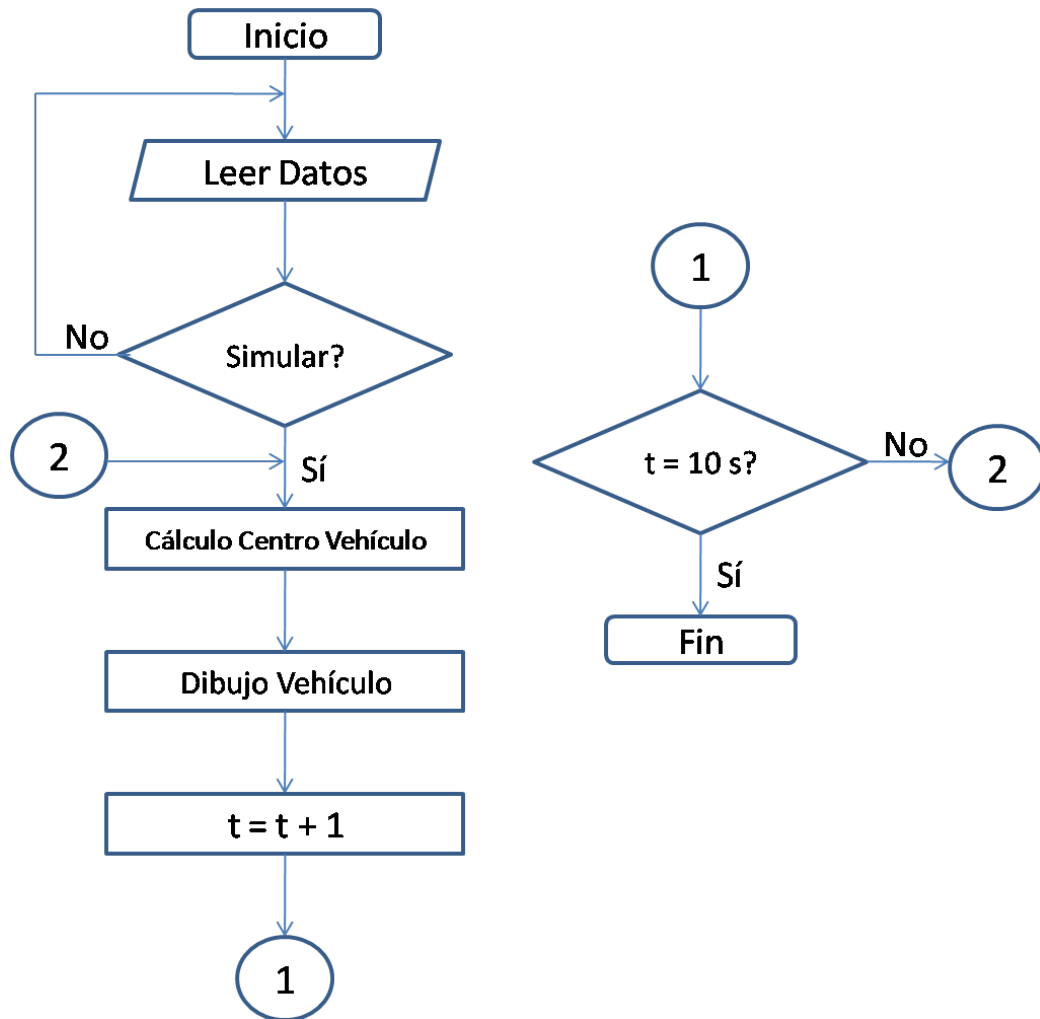
$$y(k+1) = y(k) - \left(\frac{T}{2}\right) * r * \text{cos}(\phi(k)) * (W_d(k) + W_i(k)) \quad \text{(Ecuación) 31}$$

$$\phi(k+1) = \phi(k) + T\left(\frac{r}{b}\right) * (W_d(k) - W_i(k)) \quad \text{(Ecuación) 32}$$

Siendo k el instante de muestreo actual.

Como ya se había dicho la finalidad de la simulación es la de estimar la posición y la orientación del vehículo en cada instante ($t = 10 \text{ Seg}$). Para analizar las etapas requeridas en su programación, se desarrolló el diagrama de flujo mostrado en la Imagen 23. Diagrama de Flujo del Simulador

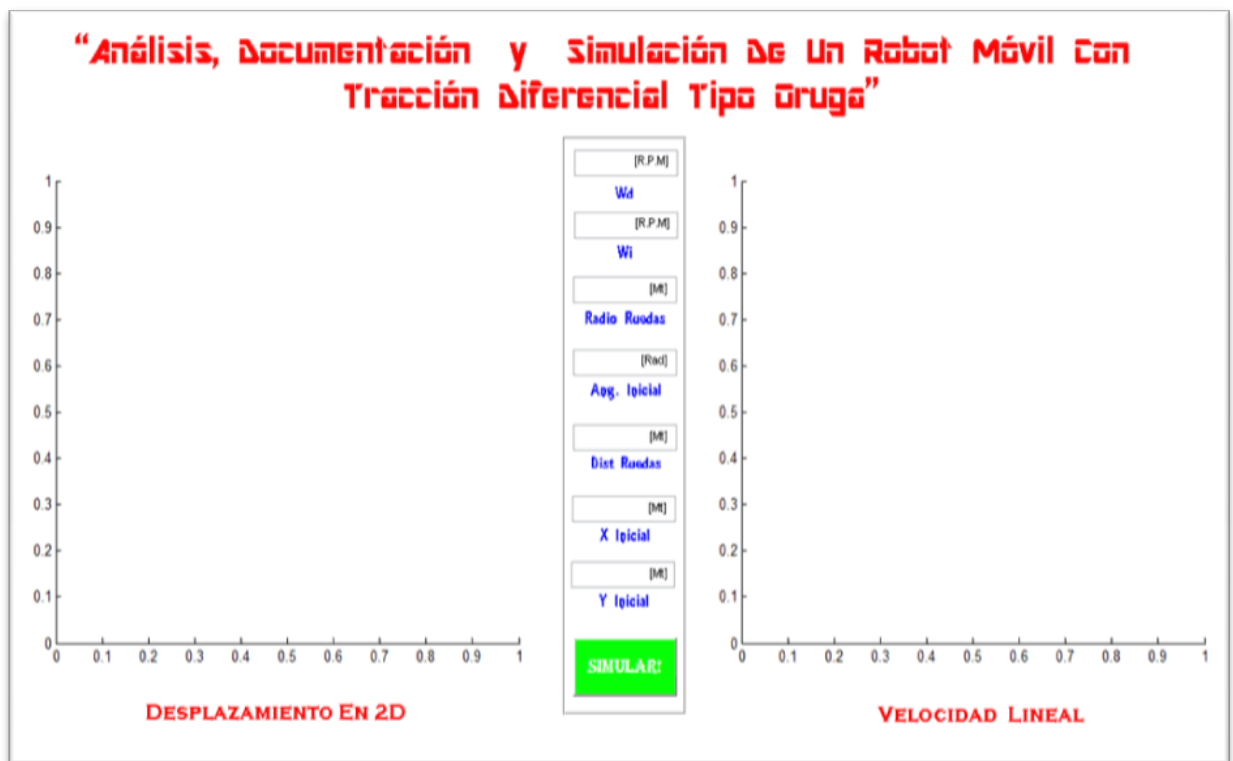
Imagen 23. Diagrama de Flujo del Simulador



Después clarificar los principales procesos del programa se procede a iniciar el diseño de la interfaz la cual se puede observar en la imagen No.18, y finalmente transformar dichos procesos en lenguaje C, para así dar inicio a la simulación.

La interfaz de usuario descrita por la imagen No.19 está compuesta por 7 datos de entrada como: Velocidad angular (Rueda izquierda y derecha), Radio de las ruedas, Angulo inicial (Radianes), Distancia entre ruedas, y la posición inicial (Coordenadas “x” y “y”); 2 graficas en 2D correspondientes a la posición y velocidad lineal del vehículo y por último un botón para dar inicio a la simulación.

Imagen 24. Interfaz de usuario



Esta simulación se realizó tomando como base la toolbox de Hemero y adaptándola a las necesidades del proyecto. La Imagen 2525 muestra el resultado obtenido luego de ejecutar la simulación con los siguientes datos: velocidad angular de las ruedas idéntica de diez r.p.m, radio de las ruedas de 0.11 m, distancia entre ruedas de 0.32 m y ángulo y coordenadas iniciales en cero.

Por otra parte, la

Imagen 266 muestra el resultado que se obtendría si la velocidad de una de las ruedas cayera en 1%, generando 9.9 r.p.m en lugar de las 10 ideales. Al comparar ambas gráficas se observa que aunque el error en velocidad es pequeño (1% para una rueda) el error en posición es bastante grande. Por tanto, se hace necesario implementar un control de velocidad confiable.

Imagen 25. Resultado Simulación Velocidad Idéntica

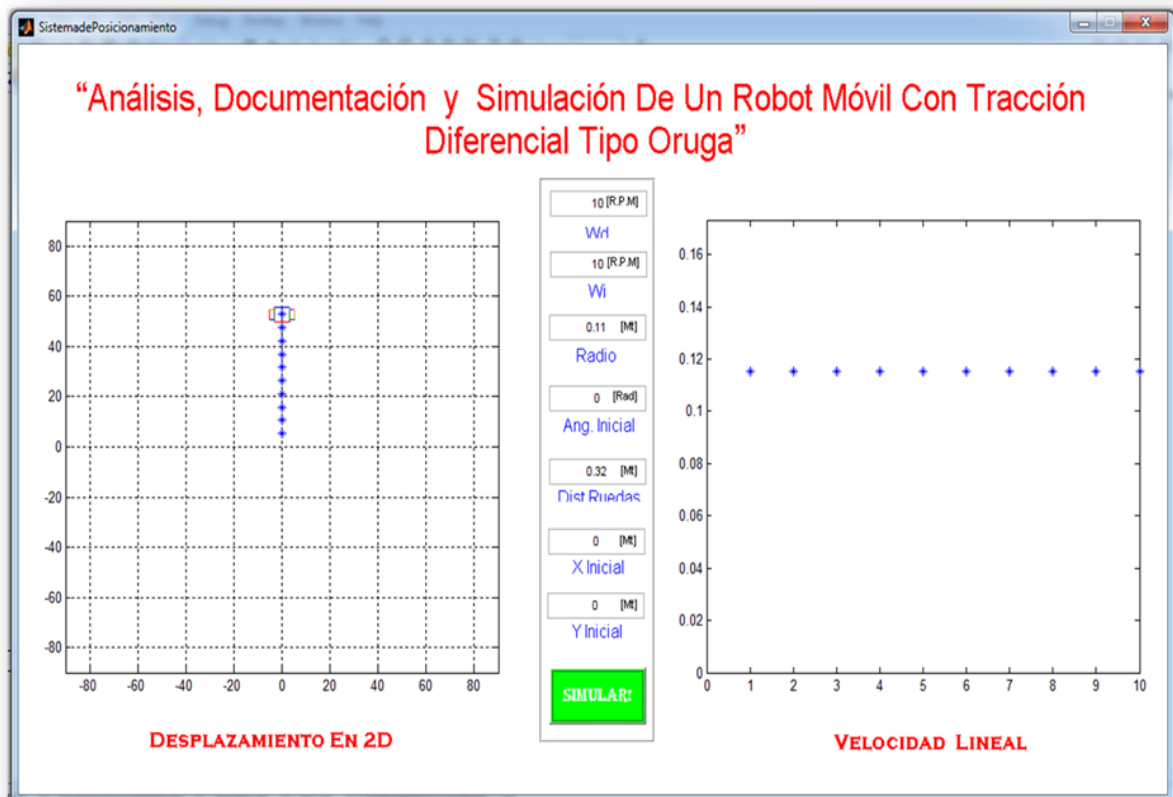
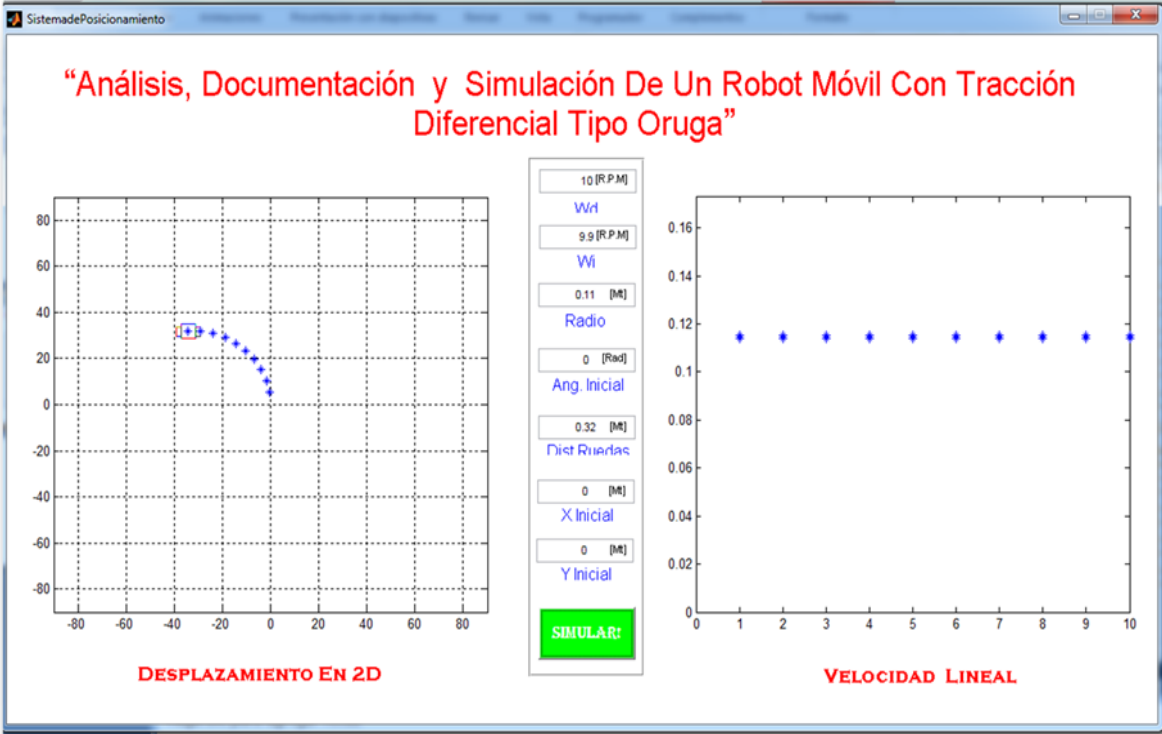


Imagen 26. Resultado Simulación Velocidad Diferente



10.2 ACTIVIDAD 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA UN ROBOT MÓVIL CON TRACCIÓN DIFERENCIAL TIPO ORUGA

10.2.1 JUSTIFICACIÓN

Para garantizar una correcta distribución y ubicación de los dispositivos de entrada y almacenamiento de datos, BIONIX decide implementar una plataforma de pruebas, que aunque no necesariamente posee la forma del original, cumple con las dimensiones críticas del mismo. De esta forma, se puede realizar una validación de los elementos.

10.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- *Diseñar una plataforma de prueba que permita validar el diseño electrónico a implementar en el robot.*
- *Construir la plataforma de validación.*
- *Documentar digitalmente la plataforma diseñada.*

10.2.3 METODOLOGÍA

- ***Fase de Documentación***

La etapa inicial de la metodología se encuentra enfocada en establecer los parámetros de trabajo del robot. Esto es, busca definir de forma tangible variables como la carga máxima de funcionamiento del robot y la masa total de la estructura.

- ***Fase de Diseño***

Acto seguido, la investigación se enfoca en el modelado y posterior simulación numérica (a través de métodos de elementos finitos pre programados en el software de diseño), para validar de esta forma las dimensiones de la estructura y realizar una comprobación inicial de la respuesta del material a las cargas presentes en el mismo.

- ***Fase de Construcción***

Finalmente, se procede a construir la plataforma. Como se mencionó en la justificación, ésta busca servir como un elemento simple, de fácil acceso, pero que permita acoplar la variante electrónica y así validar su diseño.

10.2.4 SOLUCIÓN

10.2.4.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO MECÁNICO

10.2.4.1.1 Funcionalidad del diseño: Plataforma de pruebas para la ubicación y protección de los sistemas inalámbricos y de monitoreo.

10.2.4.1.2 Objetivos del diseño:

- a. Liviano
- b. Resistente a la corrosión
- c. Económico

10.2.4.1.3 Características de los elementos que soporta

10.2.4.1.3.1 Elemento DVR

- *Peso:* **8,304 Kg**
- *Cantidad:* **1 Unidad**
- *Area:* **0,323 m²**
- *Ancho:* **0,4252 m**
- *Alto:* **0,0762 m**
- *Profundidad:* **0,254 m**
- *Volumen:* **0,008 m³**

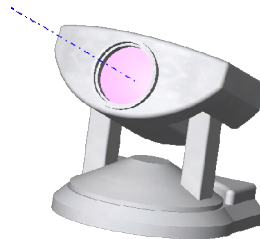
Imagen 27. DVR



10.2.4.1.3.2 Elemento Camara PTZ

- *Masa:* **0,351 Kg**
- *Cantidad:* **4 Unidades**
- *Área de superficie:* **0,065 m²**

Imagen 28. Camara PTZ



10.2.4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación en la tabla No.9 se presentan los elementos que conforman la plataforma y en el ANEXO D se puede apreciar el diseño del mismo:

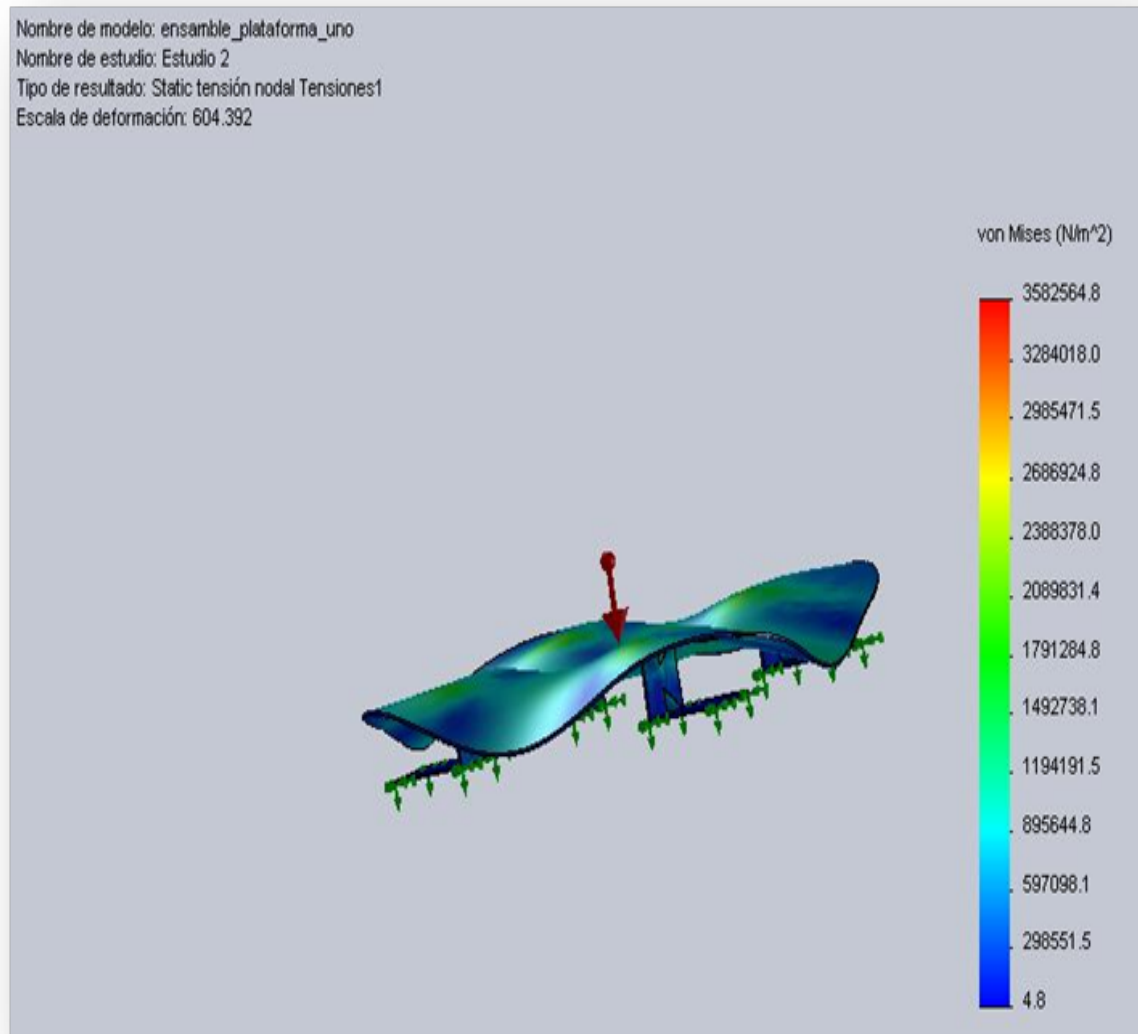
Tabla 9. Elementos de la plataforma

No.	Grupo	Nombre	Cant.
1.1	BASE DE ALUMINIO PLATAFORMA	Tapa Inferior Plataforma	1
1.2		Envoltura	1
1.3		Tapa Interior Plataforma	1
1.4		Tapa Superior Plataforma	1
2	SOPORTES DE ALUMINIO	Soportes	4
3.1	ACRILICO	Cúpula	1
3.2		Tapas Laterales	3

10.2.4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

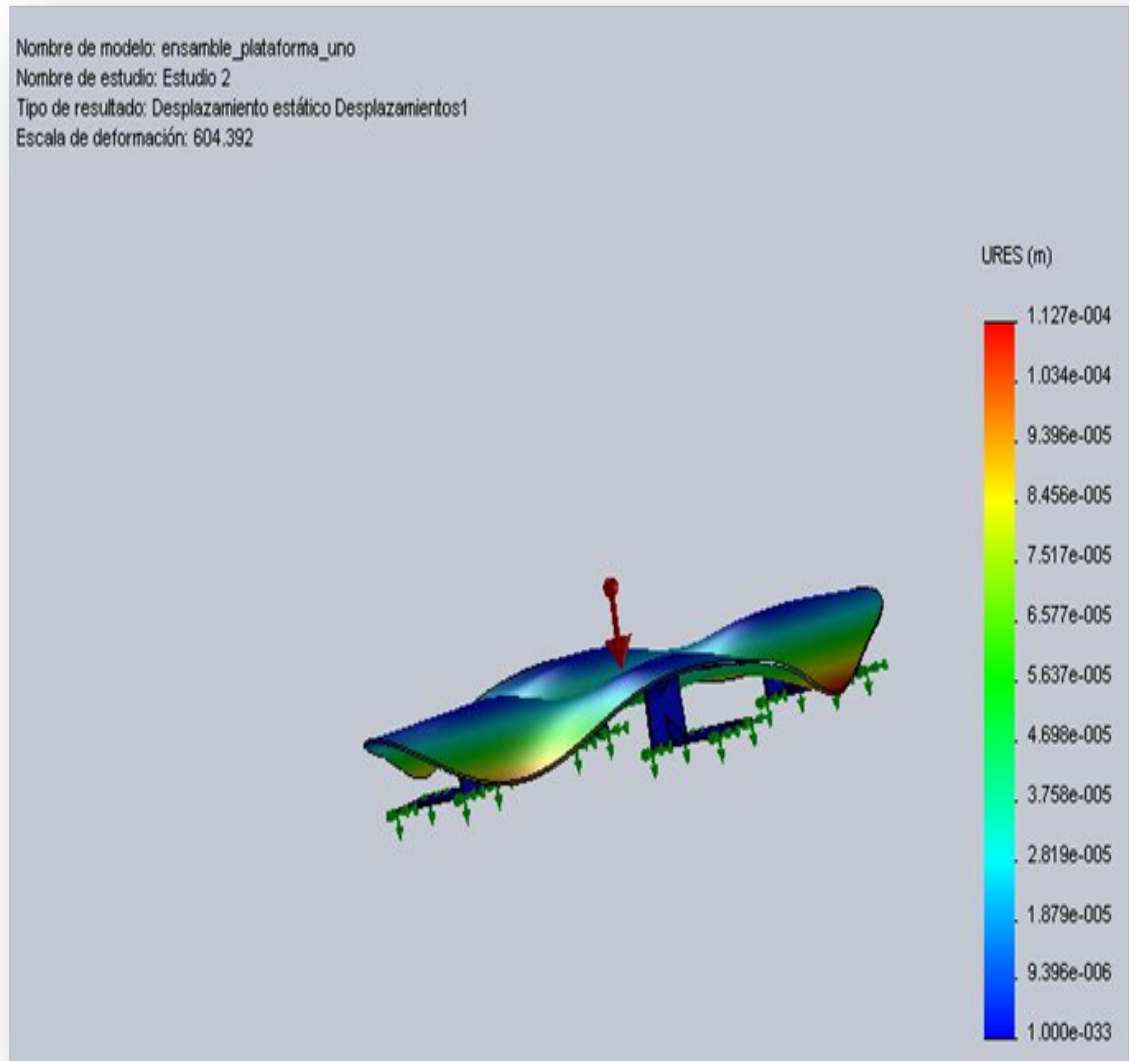
A continuación se presentan tres Imágenes donde se puede observar el resultado obtenido con el simulador para la tensión estática, el desplazamiento y el factor de seguridad de cada punto de la plataforma. Esta validación se realizó teniendo en cuenta los materiales a utilizar para la estructura, a saber: Aluminio 6063-T1 para los perfiles y Aluminio 3003 para las demás piezas.

Imagen 29. Análisis tensión estática de la plataforma



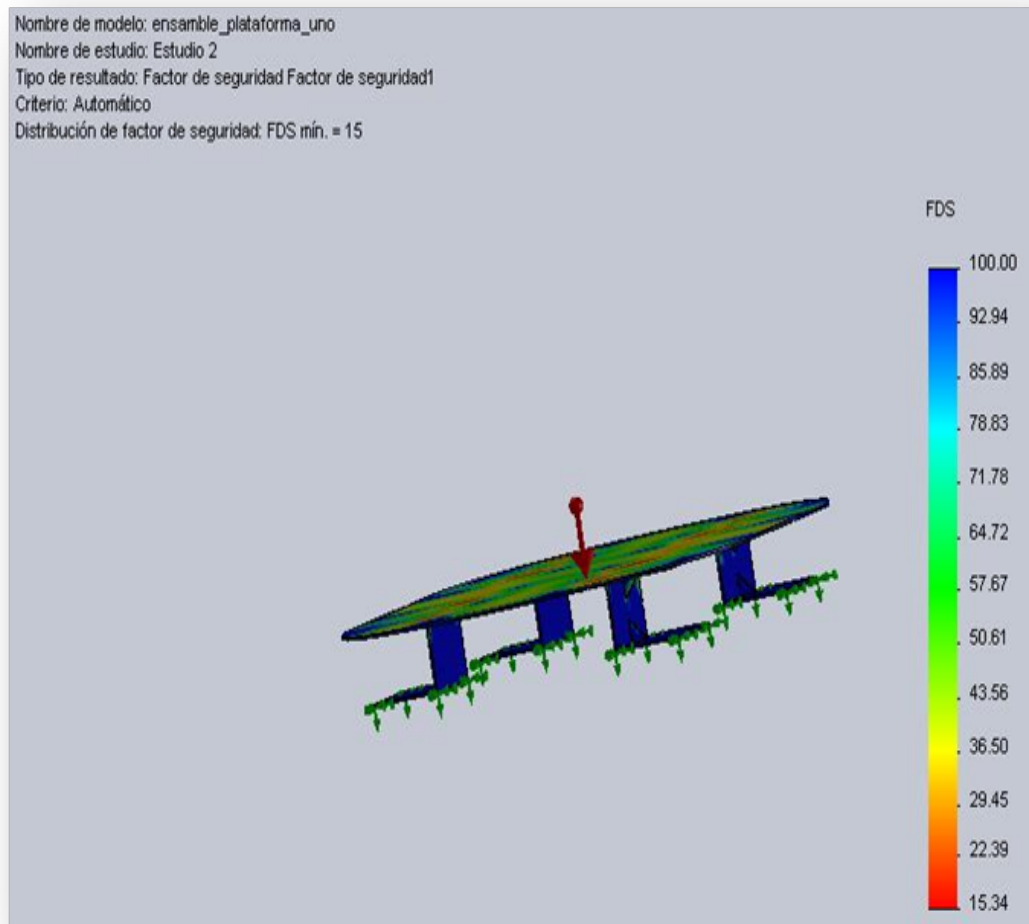
Como se observa en la primera de ellas, la tensión mínima es de 4.8 N/m^2 , la cual se encuentra en gran parte de la estructura. Existen algunos puntos críticos, pero el material los soporta y, adicionalmente, el número de elementos con esta característica es mínimo.

Imagen 30. Análisis desplazamiento estático de la plataforma



La siguiente gráfica permite validar lo expuesto anteriormente. Como se observa en la figura referente al desplazamiento estático, el mayor desplazamiento es de 11 mm, lo cual es soportado por el material.

Imagen 31. Análisis factor de seguridad de la plataforma



En esta última gráfica se puede consolidar lo expuesto para las dos imágenes anteriores. Como lo informa el simulador, el mínimo factor de seguridad presente en la estructura es de 15, mientras el máximo llega a 100. Esto garantiza que el conjunto soporta las cargas aplicadas, tal como se había mencionado hasta el momento y que, por ende, se pueden utilizar estos materiales.

10.3 ACTIVIDAD 3: DISEÑO DE UN CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD TIPO FUZZY PARA UN ROBOT MÓVIL

10.3.1 JUSTIFICACIÓN

Al finalizar la tercera etapa de la primera actividad se concluyó que era necesario implementar un control de velocidad que garantice los *SET-POINTS* deseados. Se optó por implementar un controlador con lógica difusa debido a su facilidad de calibración y a que, desde el punto de vista de la empresa, ofrece mayor versatilidad por no requerir re sintonización ante posibles variaciones mecánicas de la planta.

10.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un controlador basado en lógica difusa que permita realizar un control de velocidad confiable.

10.3.3 METODOLOGÍA

- ***Fase de Análisis***

Durante esta etapa se busca establecer parámetros básicos del controlador difuso, como lo son el número de variables de entrada y salida, para posteriormente determinar el número de reglas necesarias para el controlador.

- ***Fase de Diseño***

Luego de haber esclarecido los parámetros del controlador, se procede a su programación en la herramienta de análisis matemático Matlab. Utilizando la herramienta incorporada de diseño de controladores difusos, se definen las variables, funciones de membrecía y reglas del mismo.

10.3.4 SOLUCIÓN

La Imagen 322 muestra el esquema general del controlador, donde se observan las tres variables de entrada, las dos de salida y el esquema de control basado en la metodología mamdani. Por otra parte, desde la Imagen 333 hasta la 37, se pueden observar las funciones de membresía tanto de las variables de entrada como de las de salida.

Imagen 32. Esquema General del Controlador

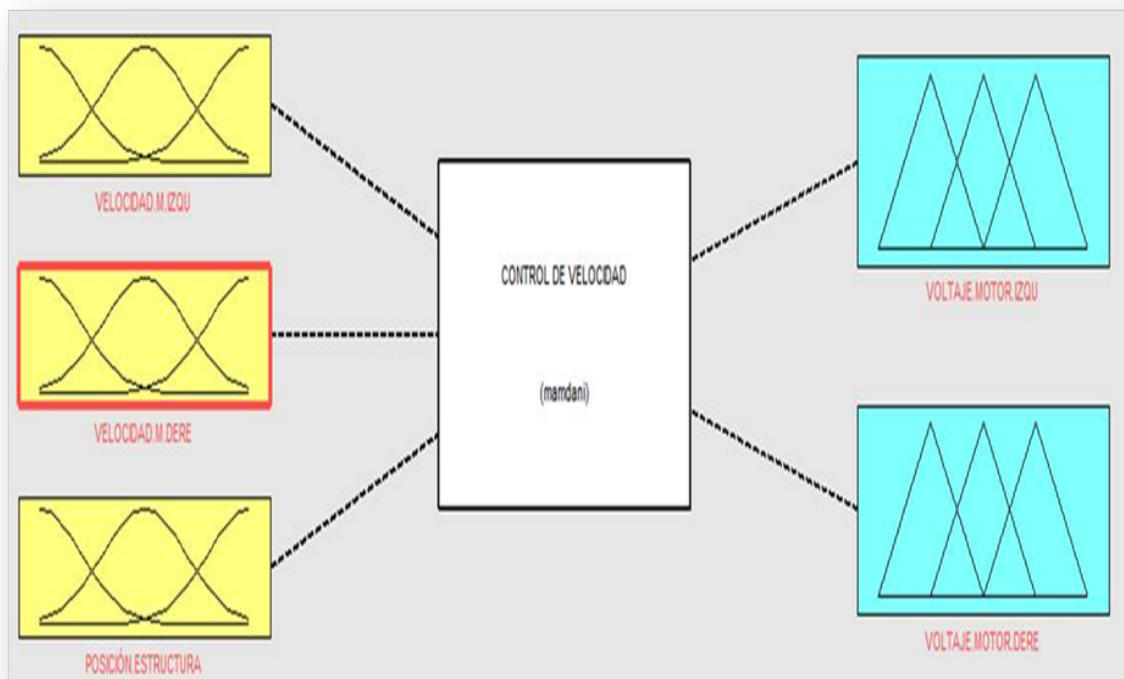


Imagen 33. Funciones de Membrecía de la Posición

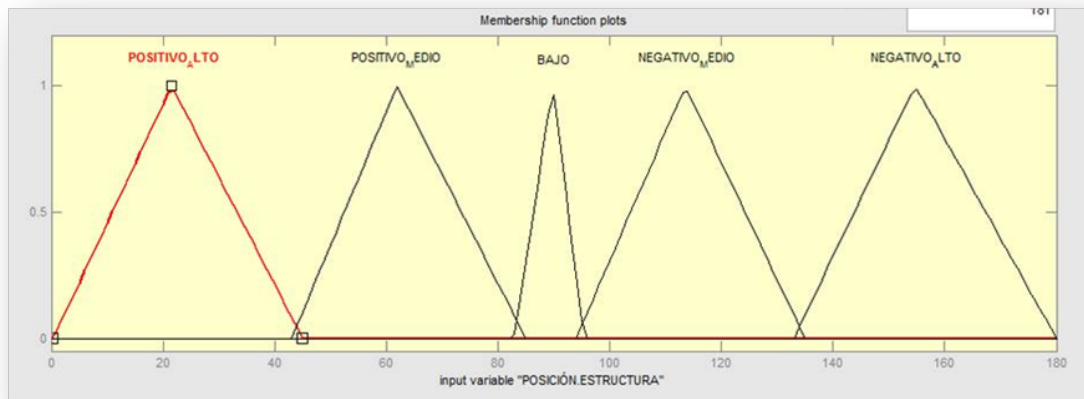


Imagen 34. Funciones de Membrecía de la Velocidad del Motor Derecho

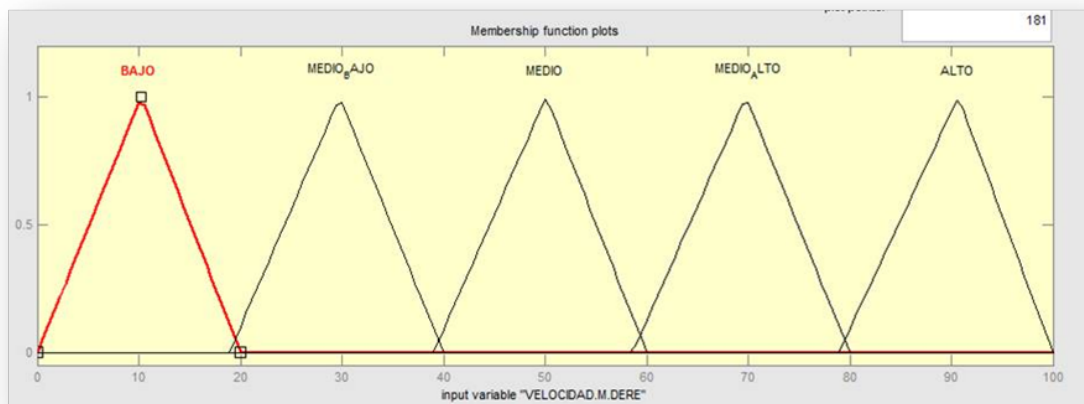


Imagen 35. Funciones de Membrecía de la Velocidad del Motor Izquierdo

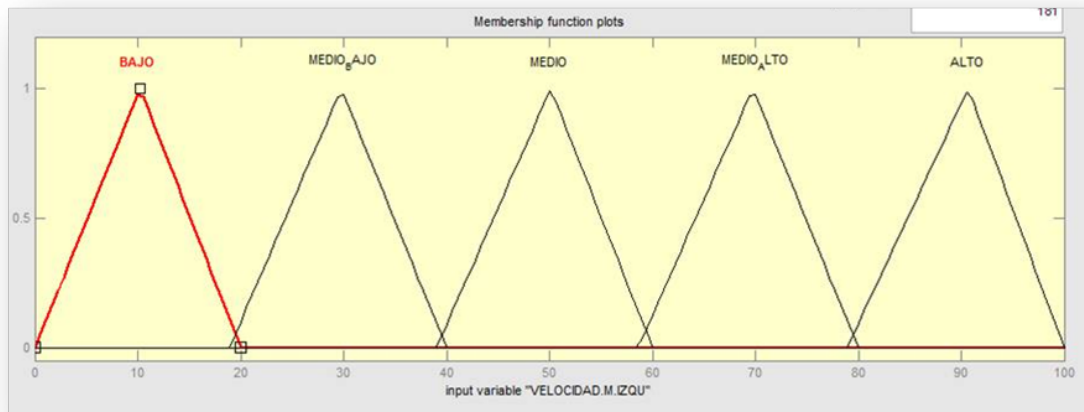


Imagen 36. Funciones de Membrecía del Voltaje del Motor Derecho

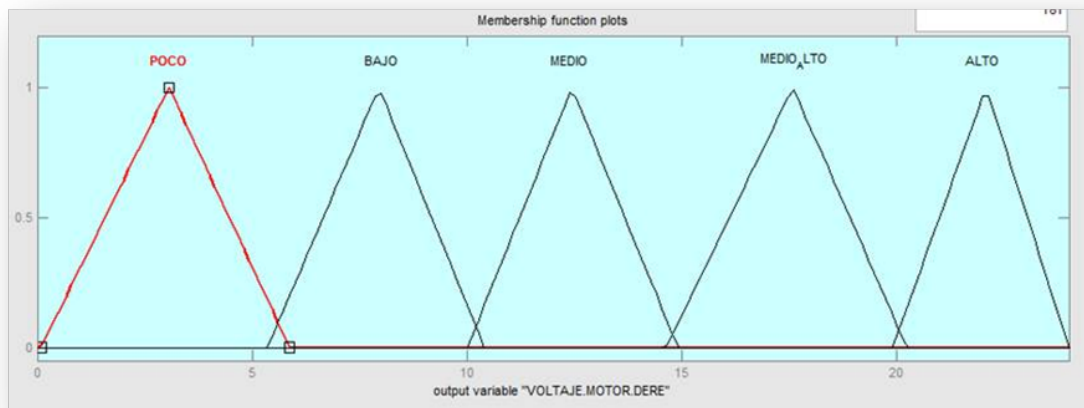
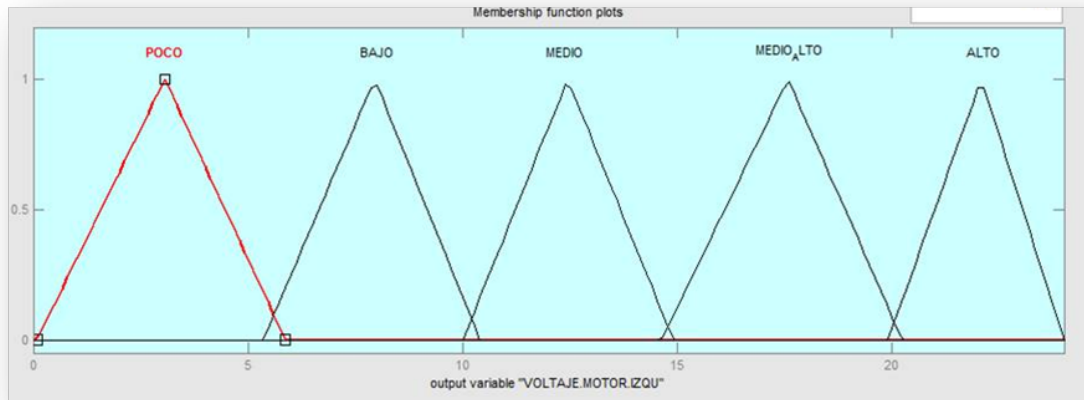


Imagen 37. Funciones de Membrecía del Voltaje del Motor Izquierdo



En la Tabla 10 se resumen las reglas implementadas en el controlador. Adicionalmente, en la Imagen 3838 se muestra la evaluación del valor de las variables de salida para condiciones de entrada muy cercanas a la ideal. Finalmente, en la Imagen 3939 se muestra la respuesta del controlador difuso.

Tabla 10. Reglas del Controlador Difuso

		Velocidad M2					Posición
		Alta	Media Alta	Media	Media Baja	Baja	
Velocidad M1	Alta					M1: Bajo M2: Alto	0 - 45°
	Media Alta				M1: Bajo M2: Medio Alto		45 - 85°
	Media			M1: Medio M2: Medio			85 - 95°
	Media Baja			M1: Medio Alto M2: Bajo			95 - 135°
	Baja	M1: Alto M2: Bajo					135 - 180°

Imagen 38. Evaluación de Promedios para Cálculo de Salida

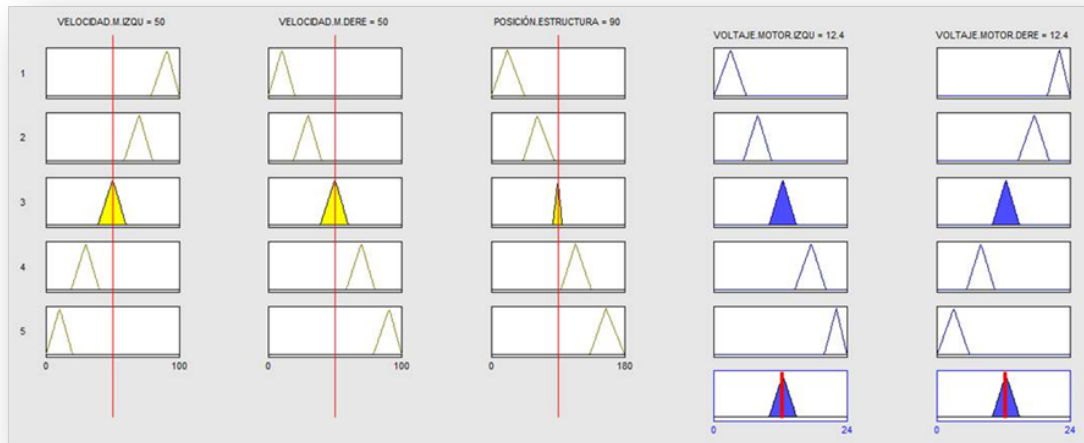
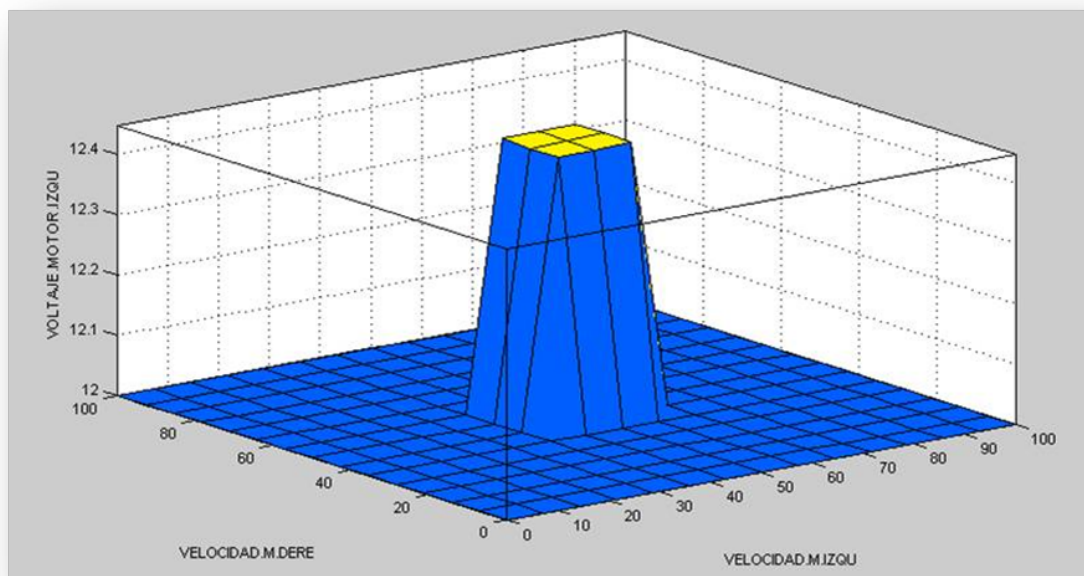


Imagen 39. Respuesta del Controlador Difuso



10.4 ACTIVIDAD 4: DISEÑO Y DIRECCIÓN DE UN CURSO DE ROBÓTICA EDUCACIONAL PARA NIÑOS

10.4.1 JUSTIFICACIÓN

La robótica educacional se plantea a los estudiantes como un espacio de experimentación, basado en aprendizaje activo y constructorista. El papel del docente en la realización de las actividades de robótica es fundamental ya que aquí debe cuestionar permanentemente a los estudiantes con preguntas retadoras y pertinentes que les permita orientarse y deducir conceptos fundamentales.

En **BIONIX** somos conscientes que la base del progreso y avance de nuestra sociedad en todos sus niveles, se basa en la tecnología, investigación y sobre todo la educación. Teniendo en cuenta esta necesidad la empresa crea el proyecto de “ROBOTICA EDUCACIONAL” que tiene como objetivo fundamental proporcionar al estudiante la formación y herramientas básicas en áreas como la robótica y electrónica.

El propósito principal de este proyecto es el de generar nuevas herramientas tecnológicas que estimulen a los niños y jóvenes durante el proceso de aprendizaje, haciendo posible esto a través del desarrollo de cursos y actividades didácticas.

10.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y dirigir un curso de robótica educacional para niños nivel PRINCIPIANTE

- Diseñar y aplicar un plan de trabajo que permita incentivar durante 3 días a niños de entre 5-12 años al aprendizaje en la robótica.
- Analizar y documentar bibliografía relevante sobre conceptos básicos y aplicaciones en el área de mecánica, electrónica y robótica.

10.4.3 METODOLOGÍA

- ***Fase de análisis***

1. Determinar el número de estudiantes y la edad promedio del curso
2. Determinar el nivel al cual aplican los estudiantes
 - a. Nivel *PRINCIPIANTE*
 - b. Nivel *INTERMEDIO*
 - c. Nivel *AVANZADO*
3. Identificar los objetivos y metas del curso
4. Realizar un plan de trabajo (Cronograma)

- ***Fase de diseño***

1. Documentación bibliográfica (Videos, animaciones, películas, proyectos y teoría) en áreas como:
 - a. Mecánica
 - b. Electrónica
 - c. Robótica
2. Diseño e implementación de un proyecto que integre las áreas de mecánica y electrónica
 - a. Diseño y construcción de Prototipo
 - b. Manual de Usuario
3. Diseño y preparación de presentaciones en multimedia
 - a. Día 1

b. Día 2

- ***Fase de implementación***

1. Dirección del curso durante los siguientes 3 sábados de 8:00-12:00 a.m

- a. 24 de Julio de 2009
- b. 7 de Agosto de 2009
- c. 14 de Agosto de 2009

10.4.4 SOLUCIÓN

Descripción del curso

Selección del Nivel

- *Nivel Principiante:* Nivel de introducción y aprendizaje básico para niños de entre 4-12 años que haya tenido poco contacto con robots.
Este nivel tiene como objetivo principal enseñar los conceptos básicos sobre robótica, manejando material didáctico a través de presentaciones en multimedia y ensambles de robots sencillos.
- *Duración:* 20 Horas

Objetivos

- Describir qué es y qué hace un robot.
- Analizar el papel de los autómatas en el avance de la robótica.
- Conocer y describir los diferentes tipos de robots existentes.
- Investigar y discutir las aplicaciones prácticas de los robots hoy en día.

- Preparar presentaciones en multimedia mostrando el funcionamiento de un robot.

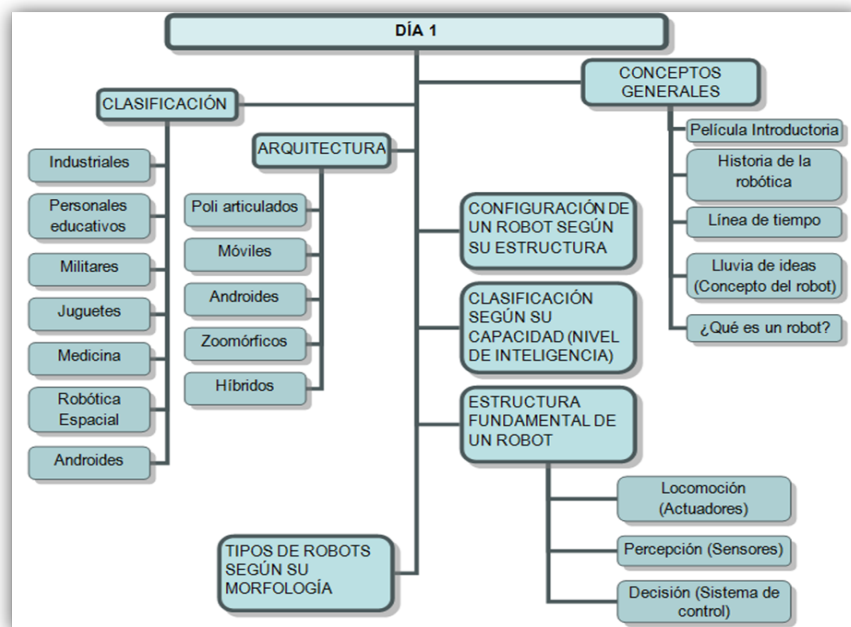
Metas

- Introducir los conceptos básicos de la robótica.
- Aumentar el conocimiento tecnológico utilizando kits educativos como herramienta básica de aprendizaje.
- Estimular al estudiante hacia una rápida asimilación de la tecnología como parte de su vida diaria y profesional.

DÍA 1:

- Juegos y demostraciones de los diferentes tipos de robots explicados.
- Actividades en multimedia tipo quiz de manera grupal.
- Videos y animaciones de los diferentes robots.
- Película corta sobre robótica.
- Investigación en Internet puesta de tarea para la siguiente clase.

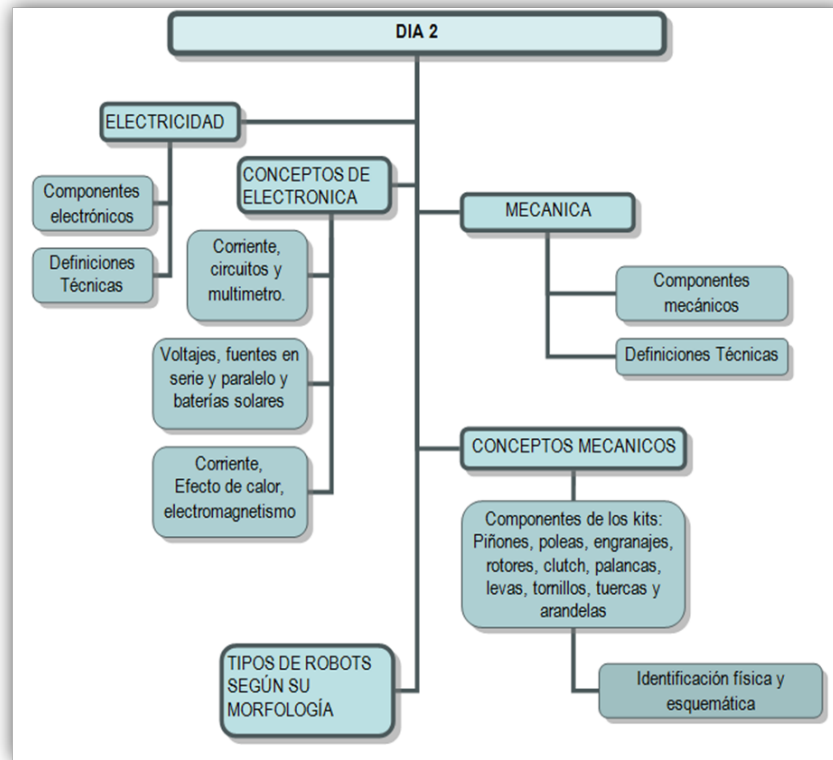
Imagen 40. Contenido teórico del curso día 1



DÍA 2:

- Familiarización de los componentes tanto electrónicos como mecánicos con los kits que se van a armar.

Imagen 41. Contenido teórico del curso día 2



10. CONCLUSIONES

- Debido a las restricciones planteadas en el análisis mecánico del robot, el modelo matemático utilizado para la selección de los actuadores solo debe ser utilizado para este tipo de robot debido a que al variar el tipo de

transmisión y/o la configuración del dispositivo de locomoción se pueden llegar a generar resultados con gran margen de error.

- Debido a las restricciones en las dimensiones y en el costo del robot, no se logró encontrar otro tipo de material que lograra satisfacer las condiciones de carga a las que se puede encontrar expuesto el móvil. Por tanto, la aleación de aluminio 2004 sigue siendo la mejor opción de diseño.
- Previendo el escalamiento del robot, se desarrolló una plataforma de simulación que permite predecir el avance del móvil en función tanto de las velocidades angulares como de la separación entre ruedas y el diámetro de las mismas.

11.BIBLIOGRAFÍA

1. **Beer, Ferdinand, y otros.** *Vector Mechanics For Engineers: Statics.* Boston : McGraw Hill, 2004. ISBN 0-07-230493-6.

2. **Rey, G. Gonzales, Toll, A. García y Cardona, T. Ortiz.** *Elementos de Máquinas. Correas y Poleas. Transmisiones Mecánicas.* s.l.: Instituto Superior Politécnico.
3. **Gómez, Juan González.** Robótica modular y locomoción. *Robótica móvil: Una apuesta de futuro.* Madrid : Universidad Autónoma de Madrid, 2009.
4. **García, Carlos Tobajas.** Construcción de un robot tipo oruga para inspección y vigilancia. Cataluña : UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
5. **Barrientos.** *Fundamentos de Robótica.* Madrid : s.n., 1996.
6. **Tibaduiza Burgos, Diego Alexander.** Lógica Fuzzy. Bucaramanga : s.n., 2008.
7. **Chikyung, Won.** *Robotic Platform.* US 6.431.296 B1 Estados Unidos, 13 de Agosto de 2002.
8. **Barbosa Pereira, Rogério.** A ROBÓTICA EDUCATIVA COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA. Cáceres : UNIVERISDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, 2008.
9. **González Gómez, Juan.** Robótica Modular y Locomoción. 2007.
10. *Robot Teleoperado para Ambientes de Alto Riesgo.* **Durán, Christian y Gonzales, Melvin.** Pamplona : Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas.

ANEXOS