

VALIDACIÓN DE MOVIMIENTO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT SOCIAL
MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE MOVIMIENTOS BÁSICOS

Autor:

LEONARDO FABIO QUIROZ BOLIVAR

TESIS DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

Director:

M.Sc José David Posada Aguilar

Ingeniero Electrónico



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
CONTROL AUTOMÁTICO Y DISEÑO MECÁNICO
BARRANQUILLA

2014

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Director del Proyecto

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos.

A mis grandes amigos que a lo largo de la carrera he conocido, a ustedes muchas gracias, en especial David Pérez por siempre impulsarme hacia adelante mostrándome que el compromiso y la entrega es la línea para avanzar en la vida, a Carlos Rada, Luis Forero, Reinaldo Peñaloza, Mauricio Villarreal, Carlos Navarro y Mauricio Rosales, por nunca dejarme caer antes los momentos más difíciles y darme aliento y apoyo a dar hasta el último esfuerzo para salir adelante. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional, este triunfo va dedicado a todos ustedes, ¡Muchas gracias!

AGRADECIMIENTOS

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Gracias a ellos es que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. ANTECEDENTES.....	6
5. ESTADO DEL ARTE.....	9
6. MARCO TEÓRICO.....	14
6.1. AUTISMO.....	14
6.2. ROBOT SOCIAL.....	14
6.3. LEGO MINDSTROM.....	15
6.4. TETRIX.....	16
6.5. ROBÓTICA.....	16
6.6. FUNDAMENTOS DE CONTROL.....	17
6.7. CONTROLADOR NXT.....	21
7. METODOLOGÍA.....	24
7.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.....	24
7.2. REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	25
7.3. ALTERNATIVAS.....	26
7.3.1. Alternativa 1.....	26
7.3.1.1. Estudio alternativa 1.....	27
7.3.2. Alternativa 2.....	28
7.3.2.1. Estudio alternativa 2.....	29
7.4. EVALUACION DE ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	30
8. RESULTADOS.....	31
8.1. CRITERIO DE SELECCIÓN.....	32
8.2. ANÁLISIS ESTÁTICO	33
8.3. ANÁLISIS DINÁMICO.....	38
8.4. SELECCIÓN DE CONTROL.....	53
8.5. MANUAL DE OPERACIÓN-.....	54
8.6. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE CONEXIÓN.....	55
8.7. RESULTADO TRATAMIENTO CON NIÑO AUTISTA.....	56
8.8. RESULTADOS DINÁMICOS	61
9. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	63
9.1.1. Modo de falla.....	63
9.1.1.1. Mantenimiento correctivo.....	63

9.1.1.1.1. Cambio de motores eléctricos.....	63
9.1.1.1.2. Cambio de baterías.....	64
9.1.1.1.3. Cables en mal estado.....	65
9.1.1.1.4. Piezas de estructura en mal estado.....	66
9.1.1.1.5. Fallas en elementos de Sujeción.....	66
9.1.1.2. Mantenimiento preventivo.....	67
9.1.1.2.1. Baterías.....	67
9.1.1.2.2. Cableado.....	67
9.1.1.2.3. Elementos de sujeción.....	68
10. CONCLUSIONES.....	70
11. BIBLIOGRAFÍA.....	71
12. ANEXOS	

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Regulador de nivel.	19
Figura 2 Partes NXT.	23
Figura 3 Esquema Alternativa 1.....	28
Figura 4 Esquema Alternativa 2.....	30
Figura 5 Esqueleto del prototipo.	34
Figura 6 Modelamiento cinemático..	42
Figura 7 Diagrama de cuerpo libre.....	45
Figura 8 Diagrama cuerpo de cuerpo libre llanta.....	47
Figura 9 Grafica aceleración vs tiempo.....	51
Figura 10 Gráfica velocidad vs tiempo.....	51
Figura 11 Gráfica posición vs tiempo.....	52
Figura 12 Control del sistema..	53
Figura 13 Control de operación.....	54
Figura 14 Plano Electrónico.....	55
Figura 15 Medición con Voltímetro.....	65
Figura 16 Modo de falla conexiones.	66
Figura 17 Baterías Recargables..	67
Figura 18 Sujetadores. Fuente:.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19 Conexión Motores DC.....	68
Figura 20 Elementos de sujeción.....	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Menú del controlador NXT.....	25
Tabla 2 Evaluación específica de la alternativa seleccionada	32
Tabla 3 Porcentaje de variación LF/HF.....	59

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde el año de 1943 fue diagnosticado el primer caso de autismo, sin embargo hasta el día de hoy este trastorno espectral ha sido un problema delicado, debido a que la ciencia actual no ha encontrado una cura para dicho problema. El autismo es diagnosticado desde muy temprana edad, por este motivo, mediante terapias se busca que el niño desarrolle al máximo sus capacidades motrices e intelectuales.

El autismo puede ser catalogado como el déficit de desarrollo del ser humano, el cual es permanente y en diferentes casos muy profundos, generalmente se presentan extrañas conductas y poca comunicación, por esta razón se dificulta en gran medida la socialización con otros individuos.

Existen muchas investigaciones que han dado paso a diferentes tratamientos que ayudan a mejorar la calidad de vida de los niños, entre estos se encuentra el tratamiento mediante sistemas inteligentes (Robots), que va dirigido a desarrollar capacidades psico-motrices en niños autistas con bajo nivel de funcionamiento motriz. Diferentes estudios han comprobado que los niños con problemas de autismo, poseen más afinidad con aparatos o elementos electrónicos que con los seres humanos, lo que conlleva a que estos dirijan gran parte de su atención a dichos objetos. Debido a que los robots sociales interactúan de manera dinámica con los seres humanos, teniendo como base el comportamiento social de la humanidad, se utilizan en diferentes terapias para ayudar a los niños con autismo a mejorar significativamente su forma de vivir.

Por último en esta investigación se busca construir un robot social con el fin de que en futuras investigaciones sea implementado como una ayuda o soporte en las terapias con niños autistas para así tratar de una manera eficaz e innovadora

sus diferentes problemas sociales y como consecuencia mejorar su formación y desarrollo tanto intelectual como motriz.

En la actualidad, los grandes avances tecnológicos que se han dado en el área de las ciencias, se ha encargado de satisfacer diferentes necesidades que se presentan en el diario vivir de la humanidad, con el fin de mejorar las condiciones de vida entre otros aspectos. La robótica ha tomado un papel muy importante en dicho proceso, ya que no solo se utiliza en aspectos cotidianos, sino que también se ha involucrado en el área de la salud con el objetivo de ayudar a que padecen enfermedades o trastornos mentales. Uno de los últimos desafíos que se están llevando a cabo es la implementación de la tecnología para ayudar a niños con ASD.

El ASD (por sus siglas en inglés Autism Spectrum Disorder) es una incapacidad relativa al desarrollo mental que típicamente aparece durante los tres primeros años de vida. Es resultado de un trastorno neurológico que afecta el funcionamiento del cerebro, el autismo y sus comportamientos asociados pueden ocurrir en 1 de cada 88 individuos. El autismo es cuatro veces más frecuente en los niños que en las niñas y no conoce las fronteras raciales, étnicas y sociales. El ingreso económico, el modo de vida y los niveles educativos de la familia, no afectan la posibilidad de que estos casos se ocurren. ¹

Actualmente en la ciudad de Barranquilla, no se cuentan con centro especializados para el tratamiento de niños con ASD, si bien hay sitios donde ayudan de manera general a los pacientes, no cuentan con la profundidad para llevar a cabo un mejor proceso, razón por la cual este prototipo sería de gran ayuda para reforzar los tratamientos que allí se llevan a cabo. Anteriormente en Colombia nunca se ha implementado este tipo de estrategia lo cual es de gran

¹ Sociedad Americana de Autismo. Información general del autismo [en línea]. <<http://www.autism-society.org/espanol/>> [citado en 23 de Octubre de 2012].

beneficio para la Universidad Autónoma del Caribe, ya que podría ser pionera en esta área. Como se está trabajando en un prototipo, inicialmente sería solo una ayuda adicional en los tratamientos, aportando de manera general según el comportamiento y como la situación lo requiera correctivos o acciones necesarias potenciar el tratamiento que se desarrolla.

¿Qué tipo de estructura, movimientos y materiales debe tener el prototipo de robot social para poder ser utilizado en un futuro como soporte al tratamiento de los niños autistas?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Validación de movimiento de un prototipo de robot social mediante la programación de movimientos básicos

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo de robot que posea 4 grados de libertad para la interacción con un niño con autismo utilizando como pilar el sistema TETRIX.
- Seleccionar un control de posición para los motores utilizando la plataforma LABVIEW
- Validar la funcionalidad del robot a través de la programación de movimientos básicos.

3. JUSTIFICACIÓN

Los tratamientos que se usan para ayudar a los niños autista , en su gran mayoría, se ven frustrados por lo que los niños debido al ASD no socializan de manera fluida con otra persona, lo que retrasa su formación y aprendizaje, y hace más difícil que este tipos de terapias se lleven a cabo en el menor tiempo posible, sin embargo, en los niños con ASD se han notado un mejor acercamiento a los robots ya que según estudios, son atraídos por la tecnología, debido a que es predecible y tiene pocos estímulos externos.² Este comportamiento facilita de manera considerable su proceso de aprendizaje debido a que el robot los ayudan a desarrollar diferentes conductas sociales de manera mucho más rápida que los diferentes estímulos manipulados por los psicólogos.

A pesar que se han dado grandes avances, todavía siguen presentando inconvenientes en las terapias para establecer cuál debe ser el comportamiento adecuado que debe tener el robot para que el niño con ASD se desenvuelva con mayor facilidad y con esto lograr mejores resultados en el proceso

La ingeniería mecánica busca por medio de prototipos definir cuál es la mejor opción para que el robots social que trabajará con el niño autista tenga un funcionamiento óptimo antes, durante y después del tratamiento, se busca que este elemento mecánico autónomo trabaje de la mejor forma posible, que se construya con los materiales adecuados para resistir cualquier perturbación ajena a las evaluadas durante la construcción del mismo y a su vez que visualmente no sea traumático para el niño, es decir, que tenga una apariencia amigable para el libre desarrollo de la terapia.

² ESTRADA, Luis A. Un robot ayuda a los niños autistas. En: QUO.mx [en línea] (21 de Junio de 2012). Disponible en: <<http://quo.mx/2012/06/21/pragmatas/un-robot-ayuda-a-los-ninos-autistas>> [citado en 23 de Octubre 2012].

En Barranquilla, debido a la falta de recursos no se encuentran este tipo de tecnología, lo que hace un poco complicado el desarrollo del tratamiento por las complicaciones que acarrea utilizar el método tradicional que hasta hoy en día se practica. La idea principal es implementar el robot social en las terapias de los niños autista para que dicho proceso sea más dinámico y atractivo para el paciente ya que en la fundación donde se desea utilizar este proyecto, cuenta con recursos muy limitados para los diferentes niños que allá se encuentran.

Gracias una revisión sistemática de datos (producto de encuestas) obtenidos a través del DANE y haciendo énfasis en personas discapacitadas del departamento del Atlántico, 2364 de estos presentan dificultad para relacionarse con las demás personas y el entorno; específicamente, en Barranquilla se encuentran 518 de estas personas y 181 son niños (individuos de interés). Basados en esta información y en el Plan de Desarrollo (2012-2015) de Barranquilla, la presente investigación se fundamenta en la forma de cómo contribuir en el proceso de mejoramiento en los tratamientos de niños con síndrome del espectro autista inicialmente en Barranquilla a través del uso de tecnológicas adecuadas y de personal capacitado (profesionales en ingeniería y psicología). La utilización de la Robótica Social como herramienta terapéutica traería consigo un impacto significativo que demostraría que la tecnología es una herramienta capaz es brindar soluciones eficientes

4. ANTECEDENTES

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se han llevado a cabo diferentes investigaciones utilizando Robots sociales en las terapias con niños autistas. En el año 2002 se publicó una investigación titulada "*Design spaces and niche spaces of believable social robots*" llevada a cabo por Dautenhahn, K. En este artículo se analiza el espacio de diseño de robots sociales creíbles. Ellos sintetizan ideas y conceptos provenientes de áreas tan diversas como el diseño de los cómics y la robótica de rehabilitación. En primer lugar, revisan el trabajo del investigador japonés Masahiro Mori en el contexto de la evolución reciente de los robots sociales. Seguidamente, analizan el trabajo en las artes en el diseño de comics, un área que se ha ocupado desde hace décadas con el problema de crear personajes creíbles. Por último, con el fin de ilustrar algunas de las cuestiones importantes involucradas se centran en un área de aplicación particular, el uso de robots interactivos en la terapia del autismo. Se discuten los problemas de diseño de los robots sociales en el contexto del diseño de "espacios" y "espacios de nicho", conceptos que se han definido originalmente para las arquitecturas de agentes inteligentes, sino que también, puede ser de gran valor para el desarrollo de diseño del robot social Este documento tiene la intención de abrir un debate hacia una exploración sistemática de espacios de diseño y espacios especializados de los robots sociales.³

Contemporáneamente en este mismo año se publicó un artículo titulado "*A quantitative technique for analysing robot-human interactions*" el cual fue desarrollado nuevamente por Dautenhahn, K. En este trabajo se propone una técnica cuantitativa para describir y analizar las interacciones robot-humano en términos de nivel bajo criterios de comportamiento (los llamados micro-comportamientos).

³ DAUTENHAHN, K. Design spaces and niche spaces of believable social robots. En: Robot and Human Interactive Communication (10 de diciembre de 2002: Estados Unidos). Adaptive Syst. Res. Group, Hertfordshire Univ., Hatfield, UK. p. 192-197.

Con el fin de demostrar la utilidad de esta técnica, se describe un caso de estudio que se llevó a cabo como parte del proyecto Aurora donde desarrollaron juguetes robóticos como herramientas terapéuticas para niños con autismo. En este proyecto se han tomado decisiones explícitas de cómo evaluar la interacción robot-humano y la forma de estudiar el impacto de la interacción. Los resultados de un estudio comparativo con los niños autistas se muestran cuando se centran en el comportamiento de la mirada. Los resultados señalan tendencias comunes así como diferencias claras entre los niños, información importante para el desarrollo futuro de los robots en el proyecto Aurora. Proponen que esta técnica es aplicable a una amplia gama de áreas de aplicación que implican interacciones robot-humanos. El trabajo presentado en este documento pretende abrir un debate sobre las técnicas apropiadas para evaluar sistemáticamente robot-humano interacciones. Este tipo de investigación es importante para el desarrollo de robots en entornos habitados por humanos.⁴

Los especialistas Ben Robins; Paul Dickerson; Penny Stribling; Kerstin Dautenhahn, publicaron "*Robot-mediated joint attention in children with autism: A case study in robot-human interaction*" En su publicación hablan sobre los robots interactivos, estos se utilizan cada vez más no sólo en la robótica de entretenimiento y de servicios, sino también en la rehabilitación, terapia y educación. El trabajo presentado en este trabajo es parte del proyecto Aurora, enraizado en la tecnología de asistencia y el robot-humano de investigación interacción. Nuestro principal objetivo es estudiar si los robots pueden utilizarse potencialmente como terapéutica o educativamente útiles "juguetes". En este trabajo se describen los objetivos del proyecto que pertenece a este estudio, así como el punto de vista cualitativo contextual específico que está siendo utilizado. A continuación, proporcionar una evaluación a fondo, en parte, utilizando Análisis de la Conversación (CA), de los segmentos de los ensayos en tres niños con

⁴ DAUTENHAHN, K. A quantitative technique for analysing robot-human interactions. En: Intelligent Robots and Systems (10 de diciembre de 2002: Estados Unidos). Adaptive Syst. Res. Group, Hertfordshire Univ., Hatfield, UK. p. 1132 - 1138 vol.2.

autismo interactuaron con un robot, así como un adulto. Su análisis se enfoca principalmente en la atención conjunta, que desempeña un papel fundamental en el desarrollo humano y la comprensión social. Habilidades de atención conjunta de los niños con autismo han sido estudiadas ampliamente en la investigación del autismo y por lo tanto este comportamiento proporciona un foco relevante para nuestro estudio. En el entorno utilizado, la atención conjunta emerge de las interacciones naturales y espontáneas entre un niño y un adulto. Se presentan los datos en forma de transcripciones y fotos. Los ejemplos fueron seleccionados a partir de secuencias de vídeo extensas para fines ilustrativos, es decir, que demuestra cómo los niños con autismo pueden responder al cambio de comportamiento de su co-participante, es decir el experimentador. Por otra parte, los datos muestran que el robot proporciona un objeto saliente, o mediador para la atención conjunta. El artículo concluye con una discusión sobre las implicaciones de este trabajo en el contexto de estudios con robots y los niños con autismo dentro del proyecto Aurora, así como la contribución potencial de los robots a la investigación de la naturaleza del autismo. ⁵

“Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills?” Liderado por los investigadores B. Robins, K. Dautenhahn, R. Te Boekhorst and A. Billard. Presentó un estudio longitudinal con 4 niños con ASD, los cuales fueron expuestos a un robot humanoide por varios meses. Este tiempo permitió que los niños exploraran el espacio de robot-humano, así como la interacción humano-humano. Con base en el material de video documentando las interacciones, un análisis cuantitativo y cualitativo se llevó a cabo. El análisis cuantitativo mostró un aumento en la duración de pre-definidos comportamientos hacia los ensayos posteriores. Un análisis cualitativo de los datos de vídeo, la observación de las actividades para los niños en su contexto interaccional, reveló nuevos aspectos de las

⁵ ROBINS, Ben; DICKERSON Paul; STRIBLING Penny; DAUTENHAHN Kerstin. Robot-mediated joint attention in children with autism: A case study in robot-human interaction (1 enero de 2004, Estados Unidos). John Benjamins Publishing Company. Volume 5, Number 2, 2004, pp. 161-198(38).

habilidades de interacción social (imitación, tomar turnos y cambios de rol) y la competencia comunicativa que los niños mostraron. Los resultados demuestran claramente la necesidad y beneficios de, estudios a largo plazo con el fin de revelar todo el potencial de los robots en la terapia y la educación de los niños con autismo.⁶

5. ESTADO DEL ARTE

Hoy en día se ha profundizado las investigaciones referentes a los robots sociales como soporte en las terapias con niños autistas, un ejemplo puede ser la investigación que se llevó a cabo por los investigadores Audrey Duquette, François Michaud, Henri Mercier titulada *“Exploring the Use of a Mobile Robot as an Imitation Agent with Children with Low-Functioning Autism”* publicada en el año 2007. Este artículo habla sobre la imprevisibilidad y la complejidad de las interacciones sociales ya que son retos importantes para un niño con autismo de bajo funcionamiento. El objetivo de esta investigación es estudiar cómo un robot móvil puede (al tener un aspecto lo más parecido posible a un ser humano) facilitar la interacción recíproca, tales como juegos de imitación. Mediante la realización de un estudio exploratorio con cuatro niños, han encontrado que las formas de convenciones compartidas, tales como imitación de los movimientos del cuerpo y de acciones familiares son más altas con dos niños emparejados con un mediador humano, en comparación a dos niños emparejados con un mediador robot. Sin embargo, los dos niños vinculados con el mediador robot demostraron mayor atención compartida (contacto visual, la proximidad física) y en la imitación de sonrisa que los niños vinculados con el mediador humano. El objetivo de este trabajo es hacer frente a la hipótesis de investigación que un objeto animado como

⁶Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? Estados Unidos. 1 diciembre de 2005. Universal Access in the Information Society, Volume 4, Issue 2, pp 105-120. ISSN 1615-5289.

un robot, más predecible y menos compleja en sus modalidades de interacción en comparación con un ser humano, puede hacer que un niño con autismo demuestre una reducción en el uso de mecanismos de evitación, a saber, repetitivos y estereotipados patrones de juego con objetos inanimados, aumento de la atención compartida enfocada y convenciones compartidas, y facilitar la aparición de formas simbólicas de comunicación como el lenguaje verbal. Los resultados confirman sólo partes de la hipótesis de investigación. Los niños vinculados con el mediador robot mostraron que su mayor atención se centró en el contacto visual y la proximidad física que con los niños vinculados con el mediador humano en todos los tipos de patrones de juego de imitación, incluyendo expresiones faciales, movimientos corporales, acciones familiares con objetos y acciones familiares sin objetos. Esto valida que el robot tiene características atractivas para interactuar con los niños con autismo. Sin embargo, las formas de las convenciones compartidas, como la imitación de los movimientos del cuerpo y de las acciones familiares son más altas con los dos niños vinculados con el ser humano. Esto se puede explicar ya que los niños con autismo de bajo funcionamiento tienen más dificultad para comprender la intención de comunicación debido a la limitación en los de movimientos del robot.⁷

A pesar de que la realización de un estudio exploratorio siguiendo un protocolo único tiene limitaciones conocidas, tales como la dificultad para generalizar resultados, se revela como una experiencia valiosa en términos de validar el uso de un robot móvil de diseño propio como herramienta pedagógica para los niños con autismo. A lo largo de las sesiones, Tito (nombre del robot) era fácil de usar y no requería mantenimiento durante los experimentos. Además, ninguna sesión tuvo que ser interrumpida porque el niño se sentía incómodo debido a la presencia del mediador, o se comportó de manera inapropiada. El estudio da una idea de los procesos necesarios para disminuir la angustia de los niños y aumentar su

⁷ DUQUETTE, Audrey; MICHAUD, François; MERCIER, Henri; Exploring the Use of a Mobile Robot as an Imitation Agent with Children with Low-Functioning Autism, Enero de 2007, Canada Research Chair (CRC), the Fonds québécois de recherche sur la nature

atención para aprender o para ver las formas de comunicación emerger. Los resultados son muy alentadores y apoyan la continuación de trabajo sobre este tema de investigación. Por lo tanto tenemos la intención de repetir estos estudios con un mayor número de sujetos y consolidar estas conclusiones. El papel del robot no es remplazar los educadores humanos, sino para ayudar a un niño a adquirir habilidades sociales y de comunicación que más tarde pueden ser explotadas en la interacción social con otras personas. Para ello, el trabajo futuro también incluirá un niño con un desarrollo normal de servir como un modelo para entender las intenciones de comunicación del robot para ayudar a niños con autismo a desarrollar habilidades de interacción.

“Automated Detection and Classification of Positive vs Negative Robot Interactions With Children With Autism Using Distance-Based Features.” Liderados por David Feil-Seifer y Maja J Mataric fue una investigación en la cual enuncian recientes estudios de factibilidad que involucran a niños con ASD en interacción con robots de asistencia social, han demostrado que algunos niños tienen reacciones positivas a los robots, mientras que otros pueden tener reacciones negativas. Es poco probable que los niños con ASD disfrutaran de cualquier robot el 100% del tiempo. Por tanto, es importante desarrollar métodos para detectar comportamientos negativos del niño con el fin de minimizar el estrés y facilitar la efectiva interacción humano-robot. En trabajos anteriores han demostrado que las reacciones negativas pueden ser fácilmente identificadas y clasificadas por un observador humano mediante datos de vídeo solamente, y que un rastreador de la posición automática combinada con humano-determinados heurísticos pueden diferenciar entre los dos tipos de reacciones. En este trabajo se describe y valida una mejora, por medio de un método no heurístico se puede determinar si un niño está interactuando de manera positiva o negativa con un robot, basándose en

modelos de mezcla de gaussianas (GMM). El enfoque consigue una tasa de precisión de 91,4% en la clasificación de la interacción del robot.⁸

Como resultado obtuvieron que independientemente de la apariencia del robot y el comportamiento de todos los niños, y especialmente los niños con ASD, no respondan bien el 100% del tiempo. Por tanto, es muy importante que un sistema autónomo, pueda ser capaz de identificar y responder a una reacción negativa de un niño con el fin de facilitar la interacción humano-robot debido a diferentes sonidos que presentaba el robot.⁸

Más adelante se realizó una investigación titulada *“Development and evaluation of a social robot platform for therapy in autism”* la cual desarrollaron los investigadores Daniele Mazzei, Nicole Lazzeri, Lucia Billeci, Roberta Igliozzi, Alice Mancini, Arti Ahluwalia, Filippo Muratori y Danilo De Rossi, habla acerca de las personas con ASD tienen dificultades en el manejo de las relaciones interpersonales y situaciones comunes de la vida social. Una plataforma modular para la Interacción Robot Humano y los estudios de interacción de la máquina ha sido desarrollada para gestionar y analizar sesiones terapéuticas en las que los sujetos son conducidos por un psicólogo a través de simulación de escenarios sociales. Este enfoque terapéutico innovador utiliza un robot humanoide llamado CARA capaz de expresar y transmitir emociones y la empatía. Con cara como un interlocutor social, el psicólogo puede simular escenarios de la vida real donde es adaptativamente el estado emocional del interlocutor ajustado a través de un algoritmo semicontrolado en un bucle cerrado que utiliza el tema de ASD inferido "afectiva" del Estado como entrada. Los resultados preliminares demuestran que

⁸ FEIL-SEIFER MAJA, David; MATARIC, J. Automated Detection and Classification of Positive vs. Negative Robot Interactions With Children With Autism Using Distance-Based Features, Mayo de 2011, University Park, Los Angeles, California, USA 90089.

la plataforma es bien aceptado por ASD y se puede por consiguiente utilizarse como nueva terapia para las habilidades sociales formación. ⁹

En este artículo se describe cómo FACET se está utilizando para ayudar a los sujetos con ASD para aprender empatía. Esta aplicación de una plataforma personalizable HRI evaluación (hipop) puede convertirse en un innovador enfoque terapéutico dirigido a aumentar gradualmente las habilidades sociales y cognitivas de los sujetos autistas. Una de las principales innovaciones de esta plataforma será el algoritmo de control adaptativo CARA. Este algoritmo permite el estado de ánimo del robot / comportamiento "para cambiar suavemente modular su comportamiento social y en consecuencia no sólo de sus movimientos autónomos, como ya se ha implementado en este trabajo, sino también su intensidad de la expresión facial, la posición de la cabeza durante la mirada y su tono de voz. Con este algoritmo de modulación emoción comportamientos del robot es finamente adaptado a los escenarios terapéuticos y también para inferir el estado del sujeto, lo que permite una mejor representación del contexto social que esta forma de terapia trata de recapitular. En el futuro, a través de la interfaz gráfica de usuario, el terapeuta también podría utilizar el estado inferido del sujeto como retroalimentación positiva o negativa para la calculadora humor robot. El estado inferido, expresada por los algoritmos en tiempo real como valores ECS, se puede utilizar como realimentación para ajustar finamente el comportamiento del robot. Este algoritmo de bucle semicerrado adaptación permitirá una mejor representación de los escenarios de interacción social y una mayor participación de los sujetos con ASD, así como la capacidad del robot para transmitir emociones. ⁹

⁹ ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, EMBC, 2011 ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE. (Aug. 30 2011-Sept. 3 2011 Boston, MA. USA) Conference Publications. p. 4515 – 4518.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. AUTISMO

Una de las definiciones características del Síndrome Autista, es que es un déficit en la adquisición de lenguaje e interpretación del mundo que los rodea con presencia de algunas dificultades cognitivas; quien lo padece, lo hace durante toda su vida y se manifiesta generalmente durante los tres primeros años. Algunos individuos autistas presentan conductas auto agresiva y auto estimulatorias; este trastorno en el desarrollo puede presentarse en ocasiones asociado a otras patologías como la epilepsia y al retraso mental. Se caracteriza por un deterioro en su desarrollo social que afecta las competencias comunicativas, argumentativas y propositivas de quien lo padece. Su principal causa se desconoce con exactitud, sin embargo se atribuye a un desorden a nivel neurológico y mutaciones a nivel genético. ¹

6.2. ROBOT SOCIAL

Un robot es un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas. Un robot social es aquel que interactúa y se comunica con humanos de forma sencilla y dinámica siguiendo patrones de comportamiento y normas sociales. Para esto además de tener apariencia humanoide necesita disponer de habilidades que se ubiquen dentro del dominio de la llamada inteligencia social.

Es importante que el robot exhiba cierta “personalidad” distintiva. En particular, la personalidad del robot puede proporcionar una realimentación útil, ofreciendo a los usuarios una forma de modelar y entender su conducta. De esta manera, el robot

podría reconocer el estado de ánimo del usuario (por su tono de su voz, por ejemplo) e incluso, intentar modificarlo si lo considera necesario. ¹⁰

Dentro de otras aplicaciones se destacan: reproducir canciones, grabar programas de tv, escribir y enviar mensajes de textos y/o correos electrónicos, tomar fotografías, entre otras, incluso ayudar a personas de edad avanzada y/o con capacidades disminuidas, a las que podrían dar de comer, supervisar actividades, entre otras.

A fin de interactuar de forma óptima, los robots sociales necesitarían básicamente ser capaces de comunicarse con humanos manteniendo diálogos de alto nivel, por lo que deben cumplir una serie de requisitos: seguir visualmente los movimientos del interlocutor (rostro, cuerpo, extremidades), además de reconocer e interpretar el habla humana, lo cual incluye el discurso afectivo, las órdenes discretas y el lenguaje natural; de igual modo, sintetizar la voz y reproducirla sin problemas, idealmente con cierta modulación (No el utilizado de forma clásica). Asimismo, tener la capacidad de reconocer las expresiones faciales, gestos y acciones humanas y disponer de cierta capacidad expresiva que consiste fundamentalmente en la posesión de un rostro, con componentes faciales tales primarios como ojos, párpados, cejas, mejillas, labios, mandíbula y frente. Finalmente, deben poder interpretar la conducta social de las personas a través del diseño y construcción de elaborados modelos cognitivos-afectivos. ¹⁰

6.3. LEGO MINDSTORM

La serie de kits LEGO Mindstorm contienen un software y hardware para desarrollar pequeños robots, personalizables y programables. Ellos incluyen un 'bloque' programable que controla el sistema, un conjunto de sensores modulares

¹⁰ BARRIENTOS, Fundamentos De Robótica. 3ra ed. Mc Graw-hill. Mexico 2007, 326 pág. ISBN 8448156366

y motores, y partes de la línea LEGO, que son técnicas para crear los sistemas mecánicos.

El kit original Mindstorms Robotics Invention System contiene dos motores, dos sensores de tacto, y un sensor de luz. La versión NXT tiene tres motores servo y sensores luz, sonido, distancia y contacto. El NXT 2.0 cuenta con 2 sensores de contacto, así como un sensor de luz y la distancia, y soporte para 4 sin necesidad de utilizar un multiplexor sensor. Lego Mindstorms puede ser utilizado para construir el modelo de un sistema integrado con control por computadora a partir de piezas electromecánicas. Muchos tipos de sistemas integrados de la vida real, de controladores de ascensores a los robots industriales, pueden ser modelados utilizando Mindstorms.

6.4. TETRIX®

Las principales piezas TETRIX estructurales, son canales de aluminio con agujeros de marca registrada que permite conexiones múltiples de 45°. Las piezas se unen con pernos. Otros elementos de construcción incluyen engranajes, ruedas, motores y servos. TETRIX se puede usar conjuntamente con el kit Lego Mindstorms NXT, para que así el controlador inteligente NXT pueda controlar los motores y servomotores TETRIX. La conexión a pesar de ser únicamente mecatrónica, debe tener, al mismo tiempo, una organización meticulosa ya que puede irrumpir en las facilidades de diseño del elemento a construir. En los EE.UU., LEGO Education North America es una empresa conjunta entre Pitsco Inc. y la división educativa del Grupo LEGO.

6.5. ROBÓTICA

Un robot es un manipulador programable capaz de realizar diversas funciones ya sea para desplazar materiales, objetos, herramientas o determinados artefactos

mediante movimientos programados variables y cuyo objetivo es realizar un sin número de tareas. El término robot fue introducido por el checo Karel Capek en 1921 y viene de la combinación de las palabras “*robota*” que significa “*trabajo obligatorio*” y “*robotnik*” que significa siervo, ambos términos quieren decir que el robot está supeditado a nuestra voluntad

Existen diversas definiciones acerca de la palabra robótica, pero la asertiva podría ser la definición que da la ISO 8373 la cual dice “*manipulador reprogramable, multifuncional, controlado automáticamente, que puede estar fijo en un sitio o moverse, y que está diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, por medio de movimientos variables programados por la realización de diversas tareas o trabajos*”

La palabra robótica fue utilizada por primera vez por el científico y escritor de ciencia ficción Isaac Asimov en 1942, dicho científico propuso las denominadas leyes de la robótica las cuales siguen vigentes hoy en día, dichas leyes son:

- Primera Ley: Un robot no puede dañar a un ser humano. ¹⁰
- Segunda Ley: Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos excepto cuando dichas órdenes entre en conflicto con la ley anterior. ¹⁰
- Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia siempre y cuando no entre en conflicto con las 2 leyes anteriores. ¹⁰

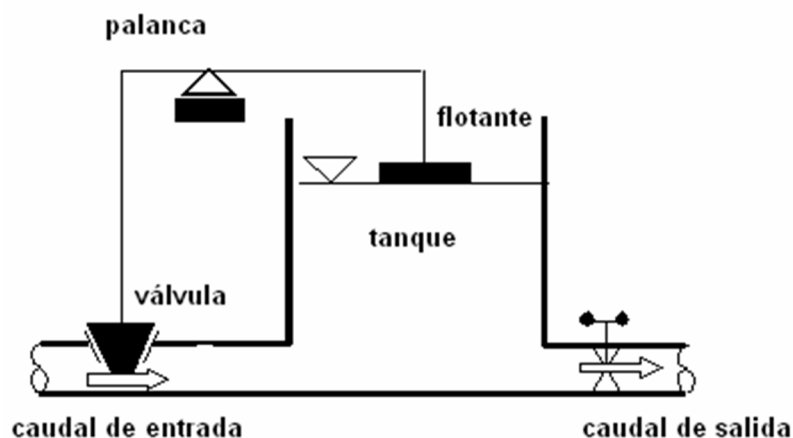
Para no violar las leyes de la robótica y así el prototipo sea considerado un robot, para la primera ley se busca validar movimientos sencillos y no dañinos para cualquier ser humano que desee tocar, ver o interactuar con el prototipo, como puede ser el desplazamiento de la estructura a baja velocidad y movimientos de

sus extremidades superior a igual velocidad. Para que la segunda ley se cumpla y no viole la primera el robot será controlado por medio de un control inalámbrico, así que, obedecerá cualquier orden que se le indique por medio del mando y como será programado para trabajar a bajas velocidades no podrá hacer daño a ningún ser viviente. Por último la tercera ley será cumplida ya que en la programación de movimientos el robot tendrá unas limitaciones en sus movimientos, con esto nos podemos asegurar que el robot no tenga movimientos atípicos o hirientes para consigo mismo.

6.6. FUNDAMENTOS DEL CONTROL

De una manera informal, el problema de control consiste en seleccionar, de un conjunto específico o arbitrario de elementos (o parámetros, configuraciones, funciones, etc), aquellos que aplicados a un sistema fijo, hagan que este se comporte de una manera predeterminada. Así un problema de control es seleccionar el punto de apoyo de la palanca de un regulador de nivel como se ve en la siguiente figura, para que la altura del líquido en el recipiente se mantenga constante a pesar de las variaciones del caudal de salida.

Figura 1 Regulador de nivel.



Fuente: Libro Fundamentos de la Robótica 3ra edición.

Entonces podemos decir que el problema de control consiste en seleccionar, para un sistema dado, una entrada que haga responder a la planta de una manera deseada; esto es, que se obtenga una salida con cierta característica.

A continuación se define la terminología necesaria para introducirnos en la teoría de control automático. Estas definiciones están basadas, en parte, en las propuestas de normas de la IEEE. Las variaciones en las definiciones dadas a continuación respecto a las normalizadas obedecen a la necesidad de emplearlas en los temas de introducción general. ¹⁰

Planta: se designará como planta a cualquier objeto físico que pueda ser controlado. Puede ser un equipo, quizás simplemente un juego de piezas de una máquina funcionando juntas, cuyo objetivo es realizar una operación determinada. Ejemplos de plantas son: horno de calentamiento, reactor químico, etc. [¹⁰

Proceso: se definirá como una operación o conjuntos de pasos con una secuencia determinada, que producen una serie de cambios graduales que llevan de un estado a otro, y que tienden a un determinado resultado final. Se denominará proceso a cualquier operación que se vaya a controlar. Ejemplos de procesos son: químicos, económicos, biológicos, etc. ¹⁰

Sistema: de forma más general, podemos definir a un sistema como un arreglo, conjunto o combinación de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyen un todo. De forma científica podemos definirlo como un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal; en otras palabras: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir.

Sistema de control: es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente.

Entrada de un sistema: Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza como excitación del mismo.

Salida de un sistema: Es una variable del sistema elegida de tal modo que se la utiliza para analizar los efectos que produjo una excitación en la entrada del mismo.

Entrada de un sistema de control: Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su manipulación se logra que el sistema cumpla un objetivo determinado. Las variables de entrada, son variables que ingresan al sistema y no dependen de ninguna otra variable interna del mismo.

Salida de un sistema de control: Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su estudio se analiza si el sistema cumple o no con los objetivos propuestos. Se verá más adelante que en los sistemas realimentados esta señal de salida contribuye a realizar el control propuesto.

Realimentación: es una propiedad de los sistemas que permiten que la salida del sistema o cualquier variable del mismo sean comparadas con la entrada al sistema o con cualquier componente del sistema, de tal manera que pueda establecerse la acción de control apropiada entre la entrada y la salida.

Perturbaciones: es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema. Las perturbaciones actúan sobre un sistema modificando, su

funcionamiento por lo que su presencia implica la necesidad de control. Normalmente las perturbaciones actúan sobre un sistema aleatoriamente.

6.7. CONTROLADOR NXT

En el controlador NXT es un microprocesador, con puertos de entrada, salida y memoria para almacenar los programas, que comunica con la PC a través de un puerto USB o Bluetooth. En el controlador encontramos lo siguiente:

Figura2 Partes NXT.



Fuente: Jobspapa.com

- 1) Puerto USB: Mediante la conexión a este puerto, se pueden descargar los programas desde la PC o actualizar los datos desde el robot a la PC
- 2) Puerto de salida: El NXT tiene 3 puertos de salida, etiquetados como A, B y C para usarlos con lámparas o motores.
- 3) Icono Bluetooth: Muestra el estado actual de este tipo de conexiones inalámbricas.

- 4) Icono del USB: Aparece en el caso de que el NXT esté conectado a la PC con un cable USB.
- 5) Conexión al adaptador de corriente: En el caso que de que sea necesario recargar la batería, y no esté utilizando pilas tipo AA, Se puede conectar el robot a un adaptador de corriente.
- 6) Funcionamiento: Cuando el NXT está encendido, este ícono se activa.
- 7) Nivel de batería: Este ícono muestra el nivel de carga de la batería; cuando este es bajo (por debajo del 10% de su capacidad), el ícono parpadea.
- 8) Parlante: Cuando se incluyen sonidos en un programa, se puede escuchar a través del altavoz.
- 9) Botones de control:
 - Naranja: Encender/Enter.
 - Grises: Navegación, izquierda y derecha.
 - Gris oscuro: Borrar/atrás.
- 10) Puertos de entrada: El NXT tiene cuatro puertos de entrada para el uso de los sensores. Se etiquetan como 1, 2, 3 y 4.

Menú del controlador

Tabla 1 Menú del controlador NXT.

My Files	Software Files	Programas bajados desde la PC
	NXT Files	Programas creados directamente en el NXT
	Sound Files	Archivos de sonido
NXT Programs	En este sub-menú se puede programar directamente el NXT	
Try Me	Programas precargados para probar motores y sensores. Deben usarse los puertos predeterminados	
View	Permite visualizar el estado de los motores y sensores en tiempo real	
Setting	Puede ajustar el volumen del sonido del NXT, ajustar el modo "sleep" para apagar automáticamente el NXT y también borrar programas	
Bluetooth	Permite ajustar los distintos parámetros de la comunicación inalámbrica	

Fuente: Complubot.com

7. METODOLOGÍA

Se tuvo en cuenta el set LEGO MINDSTROM para desarrollar, en principio, un prototipo el cual se tendría de base para, luego de obtener el set TETRIX®, trabajar en los defectos que se presentaron en el primer modelo. En primera instancia, se fijaron los grados de libertad que tendría el robot, esto con el fin de identificar de qué forma podría ayudar en las terapias (una vez sea implementado) con los paciente con ASD, de qué manera podría ayudar a su desarrollo psicomotrices y problemas de socialización con seres humanos, al mismo tiempo que colabora para el buen comportamiento del infante.

7.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- La cabeza debe tener un grado de libertad, es decir, debe mover la cabeza de un lado a otro, esto con el fin de no perder de vista al paciente y a su vez realizar un gesto negativo (moviendo la cabeza de un lado al otro) cuando el niño esté realizando una acción que merezca ser corregida.
- Debe ser capaz de girar, para que así, pueda ayudar al movimiento de la cabeza (cuando esta llega a su máximo desplazamiento angular) a no perder de vista al niño y tenerlo vigilado la mayor parte del tiempo y corregirlo cuando sea necesario.
- Dos grados de libertad en cualquiera de los dos brazos, para simular el gesto de un saludo cordial para demostrarle al paciente que no es un elemento que podría hacerla daño y representar amabilidad y cordialidad a la hora de la presentación de este elemento.
- Un grado de libertad en el brazo restante, esto con el fin de simular, junto con el otro brazo, un abrazo, para así, (solo si el paciente toma la iniciativa)

hacer el gesto de un abrazo y felicitarlo por cualquier acción positiva que el individuo realice sin poner en riesgo su funcionamiento y la integridad física del paciente.

7.2. REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

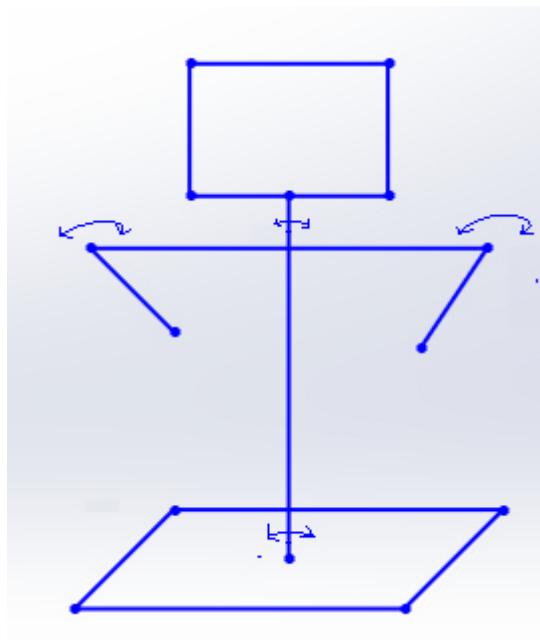
- El material con el que se va a construir el robot debe ser poco corrosivo, resistente, ligero y visualmente atractivo para llamar atención del paciente.
- Las dimensiones del prototipo no deben exceder los 60 cm de alto, 45 cm de ancho y 30 cm de profundidad.
- El prototipo no puede pesar más de 4,3 Kg.

Luego de plantear los requerimientos del robot, se plantearon 2 alternativas, las cuales se desarrollaron para demostrar cual era la más apropiada para este tipo de implementación.

7.3. ALTERNATIVAS

7.3.1. Alternativa 1

Figura 3 Esquema Alternativa 1.



Fuente: El autor.

Como primera alternativa y luego de fijados los requerimientos se implementó en primera instancia el LEGO MINDSTROM, por medio de este se realizó un prototipo con aspecto de robot. En este paso de la investigación se contó con el set LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set, el cual traía diferentes piezas de plástico, primero se realizó la cabeza, la cual debe tener un espacio lo suficientemente grande para portar un celular (el cual simulará unos ojos) en su interior, luego se acopló a un servomotor LEGO para así darle la movilidad que le correspondía. Luego se empezó a construir las extremidades y el torso, para poder darle la movilidad a ambos brazos, se realizó una transmisión de potencia por medio de engranajes a lo largo del pecho del robot, acoplando uno de los engranes a un servomotor LEGO MINDSTROM, lógicamente teniendo en cuenta el centro de gravedad de los servomotores, para lograr el equilibrio y mantener al

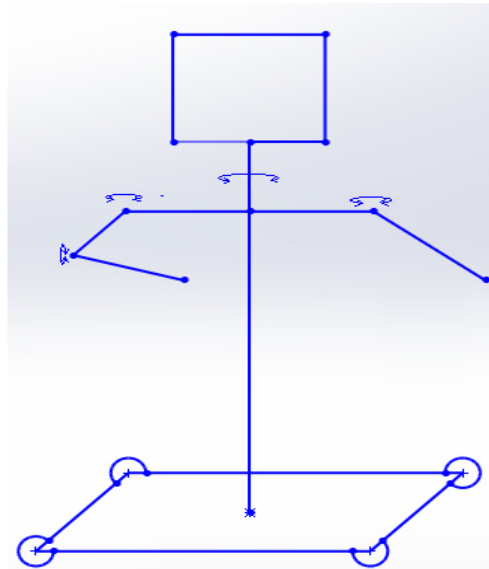
robot en una posición segura sin temor a que este pierda la estabilidad. Por último, toda esta estructura se montó encima de un engranaje el cual a su vez iba acoplado a un engrane (conjunto de piñón y engranaje) para así obtener el movimiento de toda la estructura y simular el movimiento del torso. Luego de tener el primer prototipo, al cual se le denominó Uzias, se pudo apreciar a la hora de ponerlo en funcionamiento, que tenía diferentes defectos los cuales dificultan los movimientos y al tiempo tentaban con la estabilidad del mismo, esto debido a que la rigidez de las piezas que conforman el robot no era la mejor, lo cual permitía en diferentes puntos sufrir de deflexión. Uno de los detalles que se podía notar era, al momento de mover el torso del robot, toda la estructura vibraba es por esto que lo movimientos eran lentos para en lo posible, intentar que el robot no vibrara demasiado. Otro de los defectos se presentaron en los engranes, ya que, a pesar de que los brazos eran del mismo material de la estructura, entre más alejados se encontraban del pecho (en el caso de los brazos), el momento, a pesar de ser insignificante, representaba una fuerza que la estructura no podía soportar en su totalidad, la cual generaba una ligera desviación en la transmisión.

7.3.1.1. Evaluación alternativa 1

Basándose en los requerimientos planteados, este prototipo cumple la gran mayoría de ellos, como es el caso de los 4 grados de libertad, aunque en el caso de los brazos no poseen independencia de movimientos ya que, uno depende directamente del otro debido a la cadena de engranes a la que están conectados. El material con el que se construyó es liviano lo que facilita transportarlo de un lugar a otro, pero no es lo suficientemente rígido lo que trae como consecuencia problemas de estabilidad. El prototipo pesó aproximadamente 2,4 Kg lo cual es excelente ya que no requiere de grandes esfuerzos para moverlo. Por último las dimensiones fueron 45 cm de alto, 26 de ancho y 15 cm de profundidad.

7.3.2. Alternativa 2

Figura 4 Esquema Alternativa 2



Fuente: El autor

Debido a la presencia de estas diferentes fallas, se planteó utilizar un complemento para el LEGO MINDSTROM, razón por la cual se implementó el TETRIX. Con estas piezas hechas en aluminio, la estructura del robot podía ser más rígida y así optimizar la movilidad del robot sin tener el temor de que este pierda la estabilidad.

El entorno en el que se pondrá en funcionamiento este robot posee una alta salinidad, por lo cual se eligió las piezas de aluminio debido a su baja velocidad de corrosión expuesto al medio ambiente ya que al entrar en contacto con el aire, éste se recubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio resistente a la corrosión. Otra de las ventajas que se obtienen es que debido a que es un metal ligero no influye en gran parte en el peso total del prototipo.

Al hacer el montaje del robot, el peso de este aumentó considerablemente con respecto a la primera alternativa debido a que para poder poner en funcionamiento a éste, se utilizaron (además de las piezas de aluminio) baterías y controladores de motores DC y servomotores, los cuales van montados en la estructura del robot, a la batería se le hizo en la parte posterior del robot una plataforma en la cual pueda reposar y así no perder el centro de gravedad que se tenía en un principio.

El peso total de este prototipo alcanzó los 4 Kg, los cuales están sostenidos en 4 llantas, 2 de estas son omnidireccionales, lo que quiere decir que pueden moverse en cualquier dirección sin ningún problema, junto al otro par de llantas se encuentra en cada una unos potentes motores de corriente continua a 12V que proporcionan 154 revoluciones por minuto (RPM).

7.3.2.1. Evaluación alternativa 2

Esta alternativa es un poco mejor que la anterior, el material con el que fue construido fue de aluminio, lo que se traduce en rigidez y estabilidad, del mismo modo es poco corrosivo en el medio ambiente al cual será expuesto. Con respecto a sus movimientos, mejora notablemente, fundamentalmente debido a que cada movimiento es independiente, lo que representa facilidad de movimiento para el prototipo. En cuanto al peso, este pesó 3,9 Kg, esto a pesar de haber cumplido el requerimiento de construcción en cuanto al pesaje, no es muy positivo debido a que a la hora de transportarlo de un lugar a otro se hace tedioso. Con respecto a la alternativa anterior, esta alternativa posee 4 llantas y 2 motores DC, los cuales permiten el desplazamiento (trayectos no muy largos) del prototipo. Las dimensiones de esta fueron 53 cm de alto, 39 cm de ancho y 27 cm de profundidad, lo cual se encuentra dentro de los límites de dimensiones.

7.4. EVALUACIÓN ALTERNATIVA SELECCIONADA

Anteriormente se hizo una evaluación general de cada una de las alternativas para exponer las ventajas y desventajas, a continuación se hace una evaluación del prototipo ya seleccionado pero de manera específica, para corroborar el buen funcionamiento del mismo. Se marcará con X si el prototipo cumple a cabalidad el ítem al que se hace referencia

Tabla 2 Evaluación específica de la alternativa seleccionada.

DESPLAZAMIENTO	X
DIMENSIONES	X
PESO	X
RIGIDEZ	X
ESTABILIDAD	X
FLUIDEZ DE MOVIMIENTO	X
MOVIMIENTO DE LA CABEZA	X
MOVILIDAD BRAZO DERECHO	X
MOVILIDAD BRAZO IZQUIERDO	X

Fuente: El autor.

8. RESULTADOS

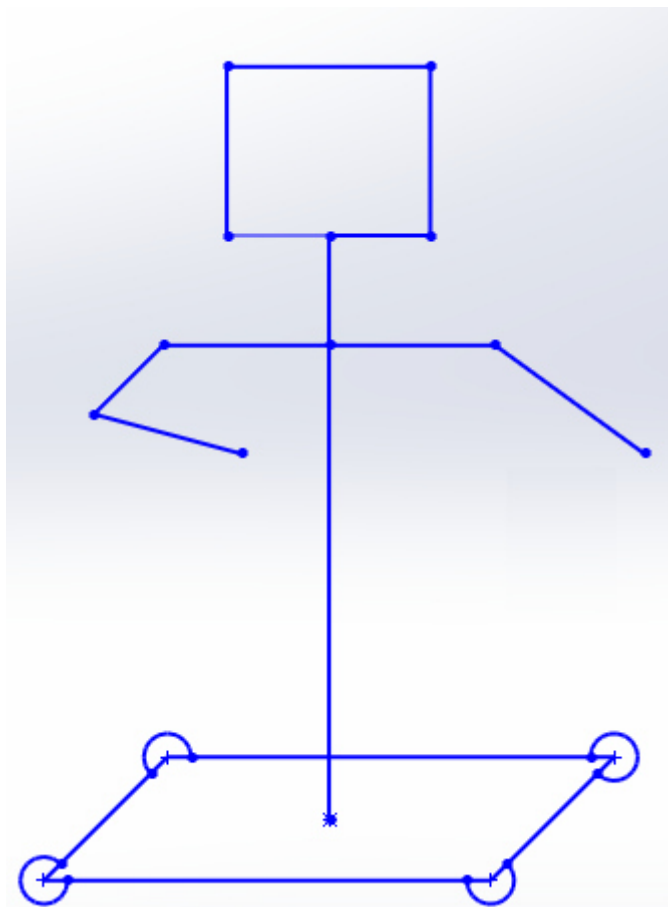
La metodología del diseño fue la siguiente:

- Identificar el Material en el cual iba a ser construido el prototipo.
- Determinar número de grados de libertad del prototipo y la ubicación de los mismos.
- Distribución de las cargas para mantener la estabilidad y centro de gravedad del prototipo.
- Diseño de selección de las piezas, elegir las piezas más adecuadas para la futura construcción del prototipo.
- Construcción del prototipo bajo los parámetros de diseño mencionados anteriormente
- Plan de mantenimiento para alargar la vida útil del prototipo, aumentando su confiabilidad y disponibilidad a la hora de ser utilizado.

8.1. CRITERIO DE SELECCIÓN

Se tenían las 2 alternativas antes planteadas, pero se decidió utilizar la alternativa # 2 debido a que el material es poco corrosivo en un ambiente de alta salinidad al mismo tiempo, su estructura echa a base de metal permite que se más resistente a cualquier perturbación no considerada en este estudio y por último, como en esta alternativa se planteó utilizar motores para el desplazamiento del prototipo, facilita la movilidad de este, lo que puede ser de gran ayuda al querer desplazarlo.

Figura 5 Esqueleto del prototipo.



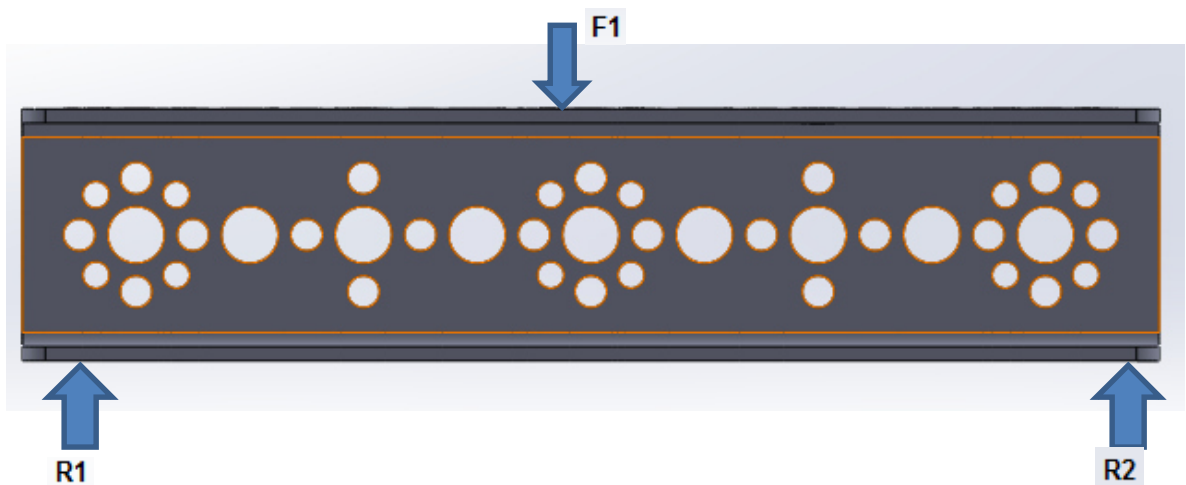
Fuente: El autor.

8.2. ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

Ahora se hará un estudio estático a la alternativa escogida para verificar que con los pesos a los que se ve sometido pueda trabajar sin ningún inconveniente. Con los datos que contamos para este cálculo:

- Peso de la batería: 2,8 Kg.
- Peso de la cabeza: 0.24 Kg.
- Peso del controlador de motor DC: 0.43 Kg
- Peso del controlador de servo motor: 0.43 Kg

Comenzaremos planteando las ecuaciones de la base del robot y avanzaremos a lo largo de este, para estos cálculos se despreciaron los pesos y los momentos de los brazos ya que son insignificantes comparados con los elementos que entran en el estudio, es decir, no varían los resultados de manera significativa si entran dentro del análisis. De acuerdo a lo anterior tenemos el siguiente diagrama:



Donde R1 y R2 son las ruedas de un lado del robot y F1 es la fuerza que ejerce la estructura a la base de la estructura, el estudio se hará para una sección del

prototipo debido a que el centro de masa se encuentra en el centro y el robot es simétrico. Planteando las ecuaciones estáticas tenemos lo siguiente.

$$\sum F_y = 0; \sum F_x = 0; \sum M_A = 0$$

Como el estudio es un análisis estático y lo se presentan fuerzas en el eje Y, vamos a despreciar el estudio en el eje X, por lo tanto solo tendremos en cuenta el estudio de los momentos ejercidos por las fuerzas y el eje en el que estas están actuando.

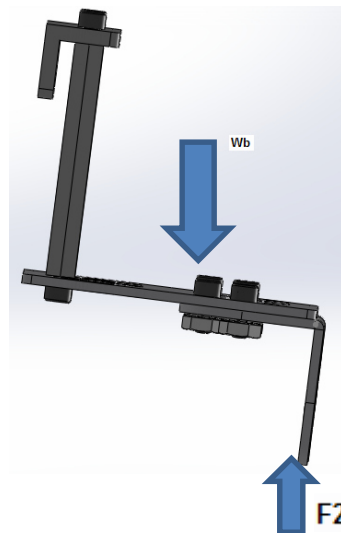
$$\sum F_y = R_1 + R_2 - F_1 = 0$$

$$R_1 = F_1 - R_2 \text{ (ec 1)}$$

$$\sum M_A = R_2 * 0.26m - F_1 * 0.16m$$

$$R_2 = \frac{F_1 * 0.16m}{0.26m} \text{ (ec 2)}$$

Ahora entramos a analizar el soporte de la batería para obtener que fuerza ejerce este elemento en la estructura del robot.



Donde W_b es la fuerza que ejerce la batería y F_2 la fuerza que mantiene en equilibrio esa sección del robot. Consideramos que la batería tiene el peso uniforme, por lo tanto:

$$\sum F_y = 0$$

$$W_b = F_2$$

$$W_b = 2,8 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = F_b$$

$$F_b = 27,44 \text{ N}$$

En la parte del pecho tenemos 3 elementos que nos ejercen una fuerza considerable, como es el caso de la cabeza y los 2 controladores. Para esta sección tenemos.

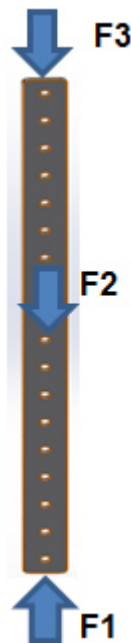
$$\sum F_y = 0$$

$$F_3 = W_c + W_{c1}$$

$$F_3 = (0.43 + 0.43 + 0.24)Kg * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_3 = 10.78 \text{ N}$$

Estas diferentes secciones las une este siguiente elemento que es el que recibe directamente estas 3 fuerzas a lo largo de todo su eje.



Teniendo en cuenta lo anterior planteamos nuestra ecuación

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$F_1 = 10.78 + 27.44$$

$$F_1 = 38,22 \text{ KN}$$

Reemplazando en la ecuación 2 obtenemos el primer valor de una de las reacciones.

$$R_2 = \frac{F_1 * 0.16m}{0.26m}$$

$$R_2 = \frac{38.22 * 0.16m}{0.26m}$$

$$R_2 = 23,52 \text{ N}$$

Ya con la R2 podemos obtener R1 de la ecuación 1

$$R_1 = F_1 - R_2$$

$$R_1 = 38.22 - 23.52$$

$$R_1 = 14.7 \text{ N}$$

Con estos valores podemos asegurar equilibrio estático en el robot.

8.3. ANALISIS DINÁMICO

Las características principales del modelo cinemático de los robots móviles con ruedas son las restricciones no holonómicas debido a la rodadura sin deslizamiento que se produce entre el piso y la rueda. Para esto se analiza una sola llanta, donde se considera que una llanta rueda sobre un plano, manteniendo su cuerpo vertical. Su configuración puede ser descrita por tres coordenadas. Se consideran las coordenadas x , y como coordenadas del punto de contacto con el suelo en el marco de x , y y el ángulo θ que mide la orientación de la rueda con respecto al x . El sistema de velocidades como \dot{q} no se puede asumir como un valor independiente, por lo que debe cumplir con las restricciones

$$[\sin \theta \quad -\cos \theta \quad 0] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = 0$$

Como consecuencia, todas las velocidades generalizadas admisibles están contenidas en el espacio nulo de la restricción de la matriz $C(q)$ (restricción de Pfaffian, donde $C(q)\dot{q} = 0$). En este caso, se obtiene

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} v_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v_2,$$

Donde v_1 y v_2 son respectivamente la velocidad lineal de la llanta y su velocidad angular alrededor del eje vertical. A esta condición se le conoce como el modelo cinemático de la rueda analizada.

Para el robot se asume entonces que tiene las mismas cinemáticas de un automóvil. Asumiendo que las dos ruedas en cada eje (delantero y trasero) colapsan en una sola rueda situada en el punto medio del eje tipo coche modelo y

que además, la rueda delantera se puede pilotar, mientras la trasera está fija, con coordenadas generalizadas $q = (x, y, \theta, \Phi)$, donde x , y son las coordenadas cartesianas de la llanta trasera, θ la orientación del carro con respecto al eje x , y Φ el ángulo de manubrio o pilotaje. El sistema está sujeto a dos restricciones no holonómicas, uno para cada rueda:

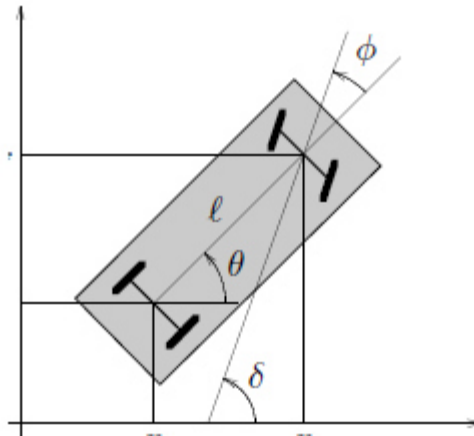
$$\dot{x}f \sin(\theta + \Phi) - \dot{y}f \cos(\theta + \Phi) = 0$$

$$\dot{x} \sin(\theta) - \dot{y} \cos(\theta) = 0,$$

Donde x_f , y_f son las coordenadas cartesianas de la rueda frontal. Ahora utilizando las restricciones de cuerpo rígido

$$y_f = y + l \sin \theta$$

Figura 6 Modelamiento cinemático.



Fuente: Fundamentos de la robótica 3ra edición.

La distancia entre los ejes de la rueda son 10 cm, los ángulos, debido a que están en constante variación debido a la dirección de las ruedas del robot, se dejarán expresadas.

$$y_f = y + l \cdot \sin\theta$$

Donde l es la distancia entre las ruedas, la primera restricción cinemática se convierte en

$$\dot{x} \sin(\theta + \phi) - \dot{y} \cos(\theta + \phi) - \dot{\theta} l \cos\phi = 0$$

La matriz de restricción de Pfaffian es

$$C(q) = \begin{bmatrix} \sin(\theta + \phi) & -\cos(\theta + \phi) & -l \cos\phi & 0 \\ \sin\theta & -\cos\theta & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

Y tiene un rango constante igual a 2.

Como el carro posee ruedas traseras, el modelo cinemático es el siguiente

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \\ \tan\left(\frac{\phi}{l}\right) \\ 0 \end{bmatrix} v_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v_2$$

Donde v_1 y v_2 son las entrada de conducción y dirección de la velocidad, respectivamente. Aquí se presenta una singularidad cuando $\phi = \pm\pi/2$, donde el primer campo del vector tiene una discontinuidad. Esto corresponde a que el carro se atasca cuando las ruedas delanteras son normales a la longitud axial del cuerpo. Como sea, la importancia de esta singularidad es limitada, debido al rango de restricción del ángulo de dirección ϕ en la mayoría de los casos prácticos.

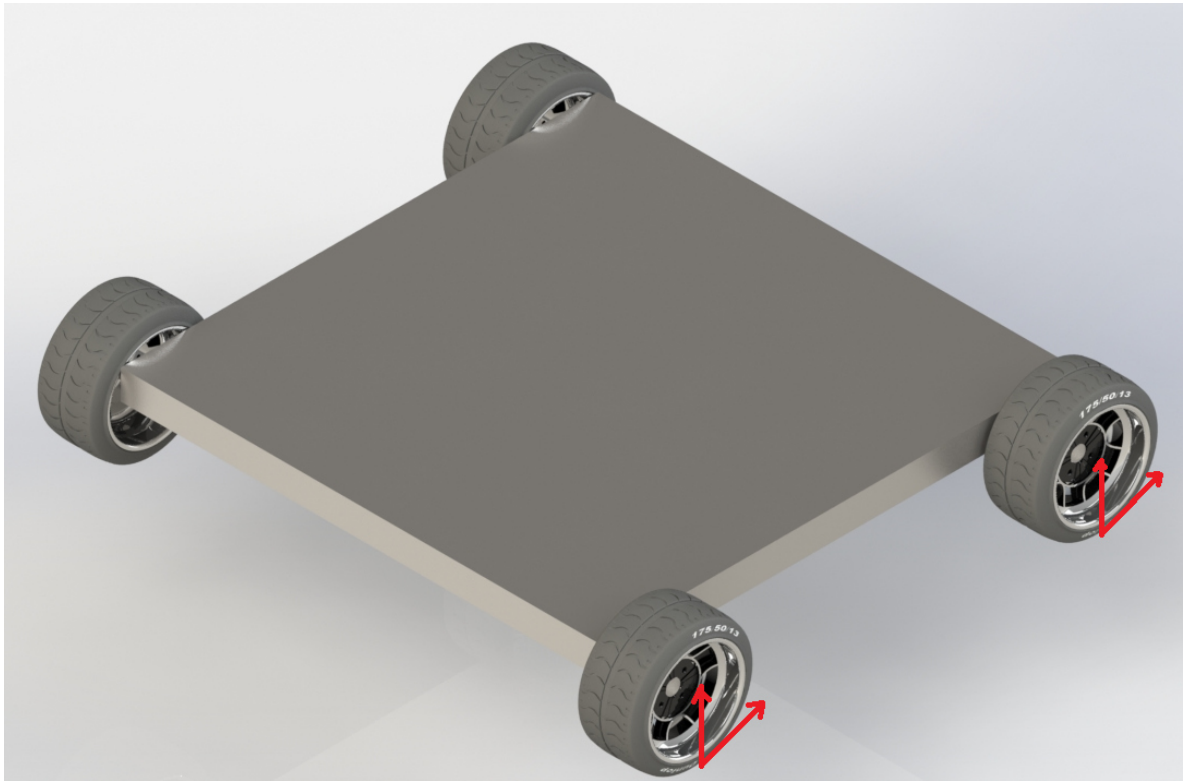
El modelamiento del manejo de las ruedas delanteras se obtiene como

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\phi \\ \sin\theta & \cos\phi \\ \sin\left(\frac{\phi}{l}\right) \\ 0 \end{bmatrix} v_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v_2$$

Donde la velocidad de manejo v_1 es ahora referida a las llantas delanteras. Nótese que la singularidad previa no se presenta en este modelamiento, de hecho, en $\phi = \pm\pi/2$ el carro aún puede (en principio) pivotear sobre sus ruedas traseras.

Para lo anterior se hicieron unos cálculos para determinar la potencia mínima que se necesita para que la estructura entre en movimiento, para poder llevar a cabo esto, es necesario dibujar un diagrama de cuerpo libre

Figura 7 Diagrama de cuerpo libre.



Fuente: El autor.

Se sabe que la masa total del robot son 4kg, dicha masa está soportada en 4 llantas de 7 cm de diámetro, para calcular el peso en Newton se hace una sumatoria de fuerzas en el eje "y", los cálculos se van hacer asumiendo que el cuerpo está en reposo.

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = N - W = 0$$

$$W = N$$

$$W = m \cdot g$$

$$W = 4 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39.2 \text{ N}$$

$$W = 39.2 \text{ N} = N$$

Donde N es la fuerza que ejerce la superficie de apoyo sobre el cuerpo que se encuentra sobre la misma, la cual es igual en magnitud que el peso pero en sentido contrario para que haya equilibrio.

Como el cuerpo se encuentra en reposo y la superficie en la que está apoyada no se asume que es perfectamente lisa, la potencia de los 2 motores DC deben superar la fuerza de fricción estática que se presenta entre las llantas y la superficie rugosa, para esto primero se tiene que hallar la fuerza de fricción que ahí se presenta.

$$\Sigma F_x = 0$$

Para esta superficie se tiene que el coeficiente de fricción estática es de $\mu_s = 1.35$ y este se obtuvo en relación a los neumáticos del carro y asfalto seco, junto con la fuerza normal, se calcula la fuerza de fricción.

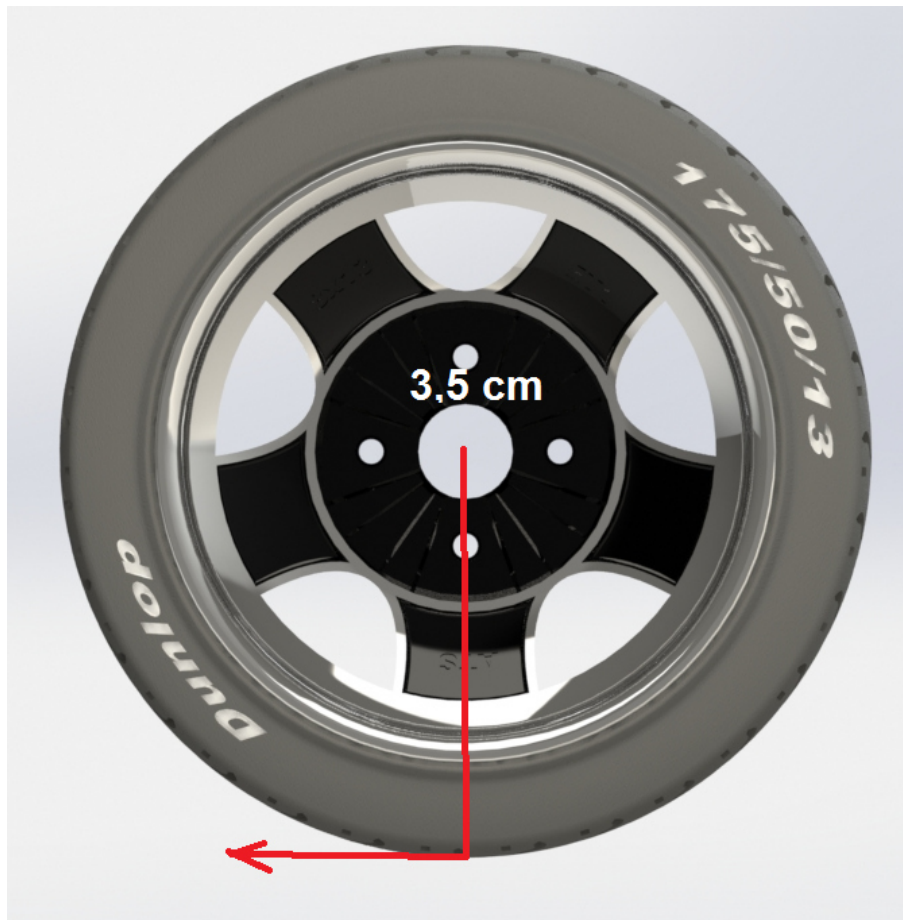
$$F_r = N \cdot \mu_s$$

$$F_r = 39,2 \text{ N} \cdot 1,35$$

$$F_r = 52,92 \text{ N}$$

Ahora bien, las RPM del motor son 154, se hallará la velocidad angular en rad/seg para luego poder calcular la potencia, para esto se planteará un diagrama de cuerpo libre para una llanta.

Figura 8 Diagrama cuerpo de cuerpo libre llanta.



Fuente: El autor.

$$\omega = 154 \text{ RPM} \cdot \frac{2\pi}{1 \text{ Rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\omega = 16,12 \frac{\text{Rad}}{\text{seg}}$$

Como los motores DC se encuentran acoplados en el punto medio de las llantas, se hallará cuanto es el torque que ejerce la fuerza de fricción y así conocer cuánto debe ser la potencia mínima de los motores para que el robot entre en movimiento, El diámetro de las llantas es de aproximadamente 7 cm, así que con estos datos se tiene lo siguiente.

$$T = F_r \cdot r$$

$$T = \left(\frac{7 \text{ cm}}{2} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \cdot 52,92 \text{ N}$$

$$T = 1.8522 \text{ N.m}$$

Este torque como se dijo anteriormente es el ejercido por la fuerza de fricción, a raíz de este torque se calcula la potencia mínima que debe vencer el motor DC para que la estructura entre en movimiento, ahora bien, para poder determinar la potencia que ejerce la fricción, ese necesario multiplicar la velocidad angular que se halló anteriormente con el torque que se determinó.

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = (1,8522 \text{ N.m}) \cdot (16,12 \text{ rad/seg})$$

$$P_{\text{minima}} = 29,857 \text{ Watts}$$

Esta es la potencia mínima requerida que debe tener el motor DC para que la estructura entre a un estado dinámico, ahora se determinará cuanto es la potencia que tiene el motor para verificar teóricamente si es capaz de hacer entrar en movimiento la estructura. El motor con que se cuenta es de 154 RPM a 12 V, y el torque que posee es de 300 oz.ft, para lo anterior tenemos lo siguiente.

$$T_{motor} = 300 \text{ onz} \cdot ft \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{35,2 \text{ onz}} \cdot \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}}$$

$$T_{motor} = 2,597 \text{ N} \cdot m$$

$$P_{motor} = 34,17 \text{ Watts}$$

$$P_{motor} > P_{minima}$$

Finalmente se puede apreciar que la potencia que posee el motor es mayor a la potencia mínima, esto quiere decir que el robot entrará en movimiento sin ningún problema.

Debido a que el robot está hecho en con piezas de lego, el peso que estos elementos generar es relativamente muy pequeño, es decir, pueden ser despreciado su peso.

Para hallar la aceleración inicial que debe tener el robot es necesario plantar la ecuación dinámica

$$F = m * a$$

Donde la fuerza es la de fricción y la masa el peso del robot en kilogramos, es decir podemos calcular cuánto será su aceleración inicial.

$$a = \frac{13,57 \text{ N}}{3.9 \text{ Kg}}$$

$$a = 3.48 \frac{m}{s^2}$$

Planteando las ecuaciones de movimiento uniformemente acelerado tenemos lo siguiente:

$$V_f = at * V_o$$

Donde V_f es la velocidad final del robot y V_o es la velocidad inicial del mismo, como el robot parte en reposo V_o es igual a 0. En cuanto a t que se refiere al tiempo en el que va a llegar a su velocidad final se fijó en 3 segundos y pasados estos 3 segundos su velocidad será constante, de lo anterior se planteó

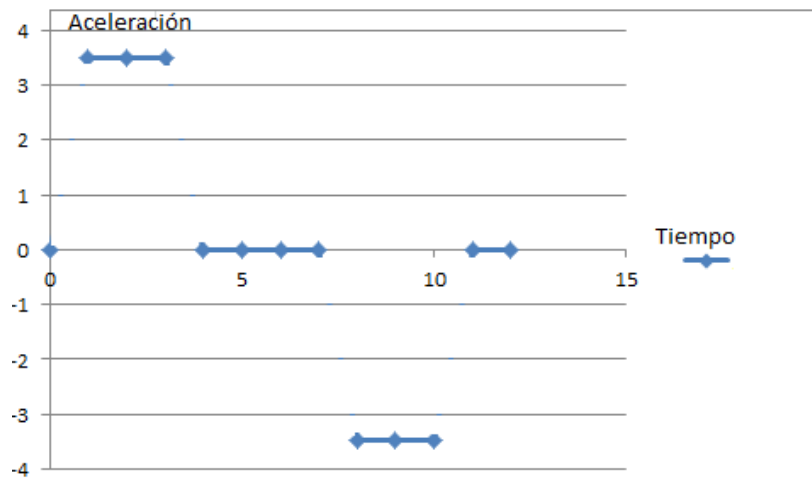
$$V_f = 3,48 \frac{m}{s^2} * 3 \text{ seg}$$

$$V_f = 10,47 \frac{m}{s}$$

Estos cálculos se hicieron para un distancia cualquiera, cuando el robot vaya a entrar en estado nuevamente de reposo los 3 últimos segundos serán de desaceleración hasta alcanzar gradualmente su estado inicial.

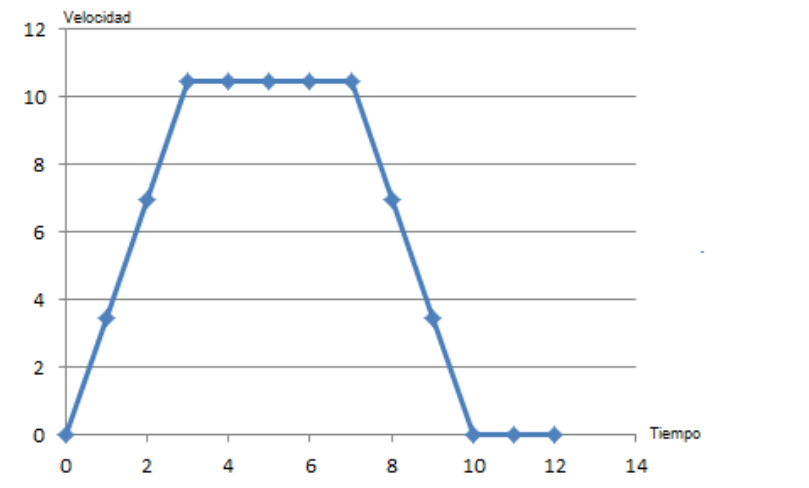
Se obtuvieron las gráficas de la aceleración, velocidad y tiempo a un tiempo de 12 segundos.

Figura 9 Grafica aceleración vs tiempo



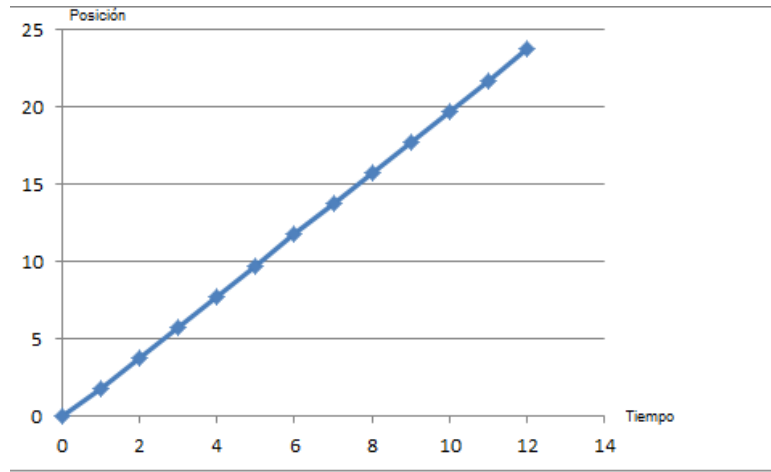
Fuente: El autor

Figura 10 Gráfica velocidad vs tiempo



Fuente: El autor

Figura 11 Gráfica posición vs tiempo

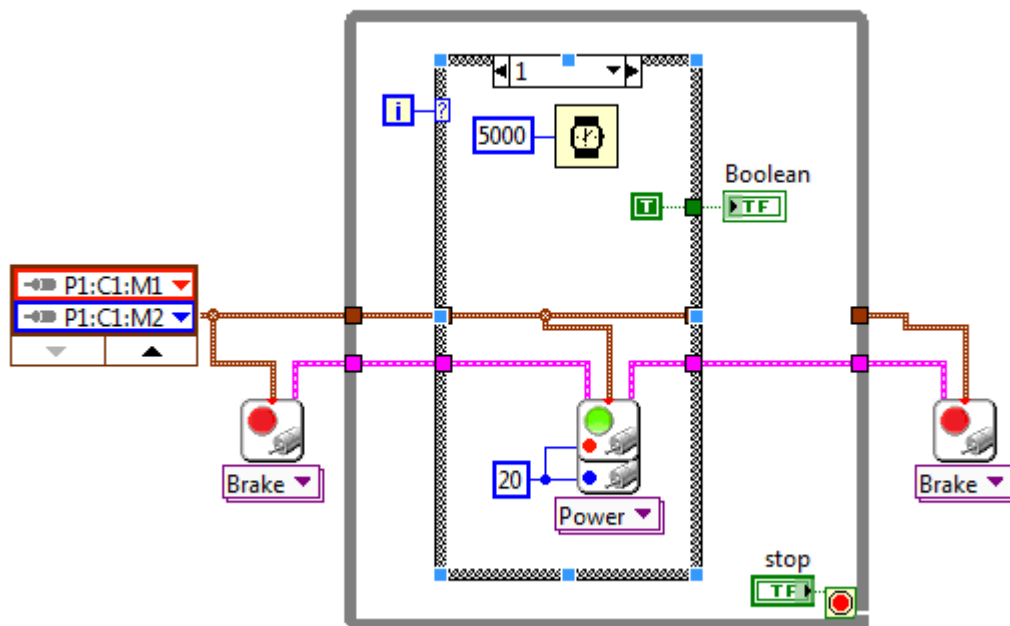


Fuente: El autor

8.4. SELECCIÓN DE CONTROL

Luego de terminados los cálculos, se hizo un control básico por medio del programa LABVIEW de 3 secuencias de movimientos para verificar que el elemento en estudio entra en movimiento y, al mismo tiempo, verificar que esté en un correcto funcionamiento, a continuación se ilustra al detalle el control del sistema.

Figura 12 Control del sistema.



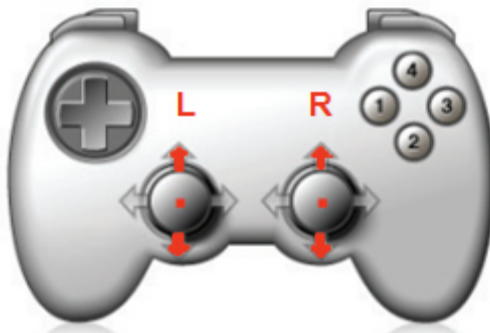
Fuente: El autor.

El criterio que se tuvo en cuenta para la selección de este tipo de control fue la de, por medio de movimientos básicos, comprobar la movilidad y desplazamiento del prototipo, para así tener certeza de un óptimo funcionamiento sin que este presentara fallas o irregularidades, ya sean de tipo funcional o estático, como puede ser el caso de estabilidad.

8.5. MANUAL DE OPERACIONES

Anteriormente se hicieron las comprobaciones de los motores DC que se encargan del desplazamiento del prototipo mediante cálculos matemáticos y se hizo una selección de control de acuerdo a los cálculos para comprobar su funcionalidad. En este manual de operaciones se darán las indicaciones de cómo se deben usar los joysticks para el correcto funcionamiento del robot.

Ilustración 13 Control de operación.

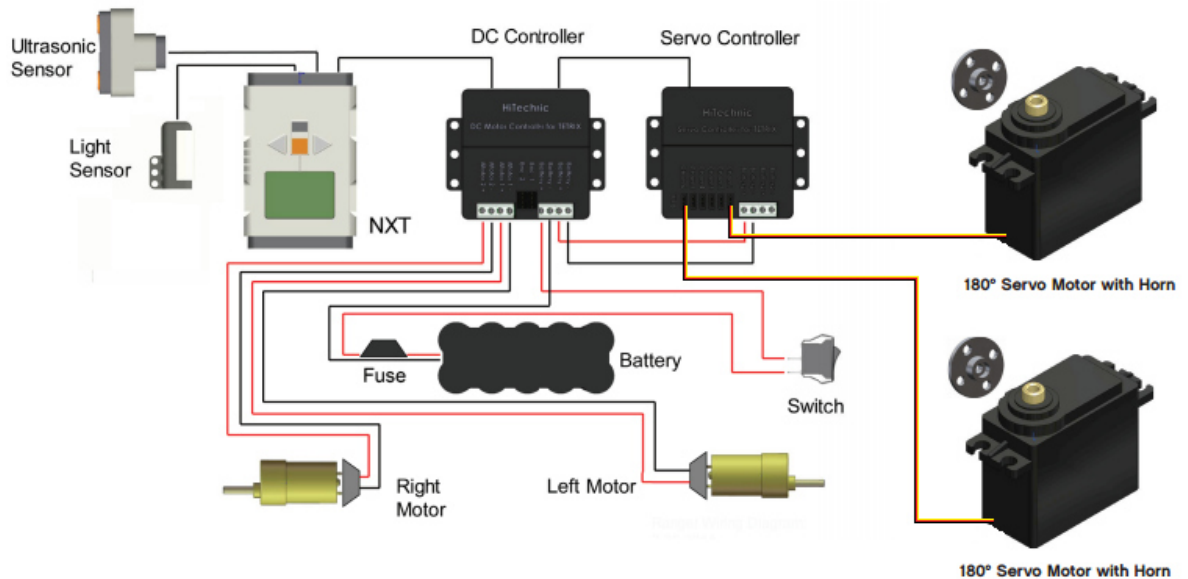


Fuente: El autor.

El análogo izquierdo marcado con la letra L se encarga de controlar el motor izquierdo, si el análogo se levanta el motor que es controlado se mueve a favor de las manecillas del reloj, de lo contrario si el análogo se baja, el motor girar en contra de las manecillas del reloj. Así como el análogo izquierdo, el derecho también tiene el mismo principio de funcionalidad. Entra más alejado de encuentre el joystick del centro, más velocidad tendrá, en cualquiera de los 2 sentidos que se aleje. Si los 2 análogos se levantan o se bajan al tiempo, el prototipo se moverá hacia adelante o hacia atrás, del mismo modo si solo se levanta o se baja uno de los análogos dejando el otro en el centro, el robot girará hacia la derecha o a la izquierda dependiendo del motor que se encuentre en funcionamiento.

8.6. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN

Figura 14 Plano Electrónico.



Fuente: TETRIX.

El NXT es el elemento que tiene el programa de control de todo el circuito, conectados a él van el sensor de ultra sonido, el sensor de luz, el controlador de motores DC y el controlador de los servo motores. Del controlador de los servos motores salen las conexiones para los 2 motores servo, uno de los brazos, en este caso el brazo derecho, uno de estos conectado en el Channel 1 y el otro en el Channel 2. Del controlador de motores DC sale una conexión nuevamente a controlador de motores servo, pero en este caso es para que dicho controlador se energice, es decir le llegue voltaje, que proviene de las baterías, la cual está conectada a un fusible (en caso de presentarse una falla o un corto) y a un switch on/off, el cual permite encender o apagar todo el circuito. Por último los motores DC se encuentran conectados al controlador en este caso, en las aberturas que posee el nombre de Motor 1 +, Motor 1 - & Motor 2 +, Motor 2 -, estos conectados a el motor derecho e izquierdo respectivamente.

8.7. RESULTADO DEL TRATAMIENTO CON NIÑOS AUTISTAS¹¹

Dentro de los tratamientos que se han llevado a cabo con robots sociales para mejorar las habilidades sociales de los pacientes con ASD, se encuentra la de Autism Treatment Center ubicado en Dallas, Estados Unidos. Este centro dedicado al tratamiento de personas que tienen ASD implementó el tratamiento con robot social, Este robot llamado ZENO sería implementado para hacer las veces de psicólogo y analizar la evolución de los pacientes a lo largo de las sesiones, durante el transcurso de la sesión se tenían diferentes fases, a medida que iban avanzando de fase iba incrementando e grado de interacción entre el robot y el humano.

Para el estudio del comportamiento de los pacientes se implementó 1 sesión junto al robot social con una duración de 30 minutos la cual se dividía en 5 fases a lo largo de la terapia. La fase A (etapa 1) consistía en introducir al niño a la sala donde se iba a llevar la sesión junto con el robot social dejándolos solos por 2 minutos, la fase B (etapa 2) consistía en la familiarización entre la sala se terapia y el robot social, durante este proceso se analizaba el grado de conformidad del paciente. En la etapa C (etapa 3) el robot realizaba 6 gestos básicos con la cara y el paciente debía imitar las expresiones. En la fase C (etapa 4) el paciente se ve envuelto en una conversación con el terapeuta el cual le preguntaba al individuo como le pareció la interacción con el humanoide y como se sentía durante la fase C. Se plantearon 6 hipótesis en las cuales se iban a basar sus resultados.

¹¹ HANSON, David;MAZZEI,Daniele; GARVER, Carolyn; AHLUWAIA, Arti; DE ROSSI, Danilo; STEVENSON, Matt. Realistic Humanlike Robots for Treatment of ASD, Social Training, and Research; Shown to Appeal to Youth with ASD, Cause Physiological Arousal, and Increase Human-to-Human Social Engagement.

- Hipótesis 1: Los robots con un aspecto humanoide no transmiten temor a los pacientes con ASD.
- Hipótesis 2: Los robots con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas, puede llamar la atención y elevar el interés del niño autista.
- Hipótesis 3: Los robots con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas, pueden retener la atención del paciente durante toda la sesión dando como resultado la petición del sujeto a prolongar la terapia con el robot.
- Hipótesis 4: Los robots con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas incentiva la condiciones fisiológicas de los jóvenes con ASD, dando como resultado el aprendizaje y compromiso del paciente a relacionarse de manera positiva con otros individuos.
- Hipótesis 5: Hacer seguimiento a los robots con aspecto humanoide con movimientos e interacciones similares a las humanas con los pacientes con ASD revela el avance del compromiso de querer relacionarse socialmente con otros seres humanos.
- Hipótesis 6: Las terapias utilizando un robot dotado con la capacidad de adaptarse y cambiar su actitud o la expresividad de acuerdo con los estados emocionales y mentales inferidos de un tema, entrenarán a los jóvenes con ASD para mejorar progresivamente y perfeccionar sus habilidades sociales.

De igual forma se plantearon unas metas con los pacientes en estudio para corroborar las hipótesis anteriormente planteadas. Dichas metas son las siguientes:

- Determinar si el niño autista responde positivamente a un robot con un parecido bastante grande a un humano.
- Investigar si la utilización de un robot con expresiones faciales muy similares a las humanas puede ayudar a desarrollar las habilidades sociales en personas con ASD, especialmente en niños en edad de formación.
- Evaluar la posibilidad de implementar un nuevo programa de entrenamiento para utilizando robot sociales en los tratamientos de los pacientes.
- Mejorar la habilidad de comunicación social no verbal en adolescentes y niños con problemas de autismo usando un robot social con aspecto humanoide.
- Mejorar la competencia social, primeramente mejorando las habilidades de interacción social, y luego reforzando gradualmente la reciprocidad y empatía emocional, permitiendo a los jóvenes pacientes con ASD interactuarse e integrarse con sus compañeros.

Los resultados se midieron mediante el ritmo cardíaco de los pacientes, las variables HRV (Heart rate variability) es el parámetro de dominio de frecuencia, revela la diferencia entre VLF (Very low frequency, calculada a lo largo de la sesión) y LF (Low frequency, calculada al término de cada fase). Las variables VLF Y LF son conocidas por estar relacionadas al sistema nervioso simpático, mientras que el HF está relacionado al sistema parasimpático, entonces el ritmo

LF/HF indica consecuentemente el balance entre los sistemas simpáticos y parasimpáticos. En pocas palabras, HRV mide que tan incómodo se siente el paciente junto al robot y la interacción que estos 2 poseen, el ritmo cardíaco se eleva si el paciente está intimidado y decrece si está cómodo. En la siguiente tabla se ilustra mediante la medición HF y VLF los resultados de comodidad del paciente.

Tabla 3 Porcentaje de variación LF/HF entre la etapa de familiarización y realización de preguntas, ASD5* no mostró interés en el robot y tampoco demostró interés en expresar al terapeuta sus sentimientos. Control3 era muy joven y no estaba cómodo en la sala de terapia.**

Porcentaje de variación de HF/LF entre las etapas B y C			
ASD 1	-42,1981004	Control 1	6,23781676
ASD 2	-46,2997006	Control 2	-22,1430327
ASD 3	-2,13989373	Control 3**	259,417476
ASD 4	-2,4062246		
ASD 5*	6,19321342		
ASD 6	-10,6806016		
ASD 7	-12,8057321		
[<-25%]	[-25% - 0]	[0 - 25%]	[> +25%]

Fuente: David Hanson, Ph.D.

Estos resultados preliminares muestran que la mayoría de los participantes con ASD tuvieron una alta actividad simpática durante la etapa de familiarización que durante la etapa de las interpretaciones faciales del robot.

Las conclusiones de estos análisis son las siguientes:

- La interacción con el robot tuvo resultados positivos: Falta de miedo, interés del paciente, deseo de continuar con el tratamiento, ilustró altos e

inusuales niveles de afecto, interacción, atención compartida, contacto visual y preocupación del paciente por los sentimientos del robot.

Con respecto a las hipótesis planteadas anteriormente se tiene lo siguiente:

- La hipótesis 1 fue confirmada. Los robots con un aspecto humanoide no transmiten terror a los pacientes con ASD.
- La hipótesis 2 fue confirmada. Los robots con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas, llama la atención y eleva el interés del niño autista.
- La hipótesis 3 fue confirmada. Los robots con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas, retienen la atención del paciente durante toda la sesión dando como resultado la petición del sujeto a prolongar la terapia con el robot.
- La hipótesis 4 arrojó resultados variados. En distintos jóvenes con ASD el robot con un aspecto humanoide, movimientos e interacciones similares a las humanas incentivó las condiciones fisiológicas de los jóvenes con ASD, dando como resultado el aprendizaje y compromiso del paciente a relacionarse de manera positiva con otros individuos. Por otro lado, con otros pacientes los encuentros con este tipo de robot bajó los grados de las bio-señales asociadas a la excitación del paciente.
- La hipótesis 5 fue confirmada. Hacer seguimiento a los robots con aspecto humanoide con movimientos e interacciones similares a las humanas con los pacientes con ASD reveló el avance del compromiso de querer

relacionarse socialmente con otros seres humanos. Lo anterior incluye el incremento del afecto, contacto visual, verbalización y preocupación por los sentimientos.

- La hipótesis 6 quedó inconclusa. La cantidad de datos no garantizaba que si las terapias utilizando un robot dotado con la capacidad de adaptarse y cambiar su actitud o la expresividad de acuerdo con los estados emocionales y mentales inferidos de un tema, entrenara a los jóvenes con ASD para mejorar progresivamente y perfeccionar sus habilidades sociales.

8.8. RESULTADOS DINÁMICOS

Ahora vamos a hacer el estudio de movimiento para diferentes articulaciones que componen el prototipo, para esto primero que todo se debe realizar un desacople cinemático, esto debido a que diferentes motores componen los diferentes movimientos que en el robot se presentan, antes que nada utilizaremos un diagrama del esqueleto del robot

El desacople se hará para el brazo derecho, la cabeza, el brazo izquierdo y la base del robot, ya que presentan comportamientos distintos, salvo la cabeza y el brazo derecho, estos 2 presentan el mismo movimiento rotacional.

Debido a que nuestro robot tiene 3 grados de libertad y son totalmente independientes el uno del otro, se colocan las matrices de rotación para cada uno de los movimientos.

$$R(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90 & -\text{sen} 90 \\ 0 & \text{sen} 90 & \cos 90 \end{pmatrix}$$

$$R(y, \phi) = \begin{matrix} \cos 180 & 0 & \sin 180 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin 180 & 0 & \cos 180 \end{matrix}$$

$$R(z, \theta) = \begin{matrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Los movimientos de los brazos son de 90 grados y el movimiento del torso es de 180 grados. Por lo que las matrices serían:

$$R(x, \alpha) = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

$$R(y, \phi) = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{matrix}$$

$$R(z, \theta) = \begin{matrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

En este estudio de movimiento se realizará secuencia, primeramente en el eje Z luego en el eje Y, y por último el eje X. Para lo anterior tenemos la matriz de traslación que se expresa de la siguiente manera.

$$T = R(x, \alpha)R(y, \phi)R(z, \theta) = \begin{matrix} C90C180 & -C90S180 & S90 \\ S90S180C90 & -S90S180S90 + C90C90 & -S90C180 \\ -C90S180C90 + S90S90 & C90S180S90 + S90C180 & C90C180 \end{matrix}$$

Para lo anterior colocando los datos que obtenemos de los movimientos y sus respectivos ángulos de giro, tenemos la matriz de traslación que describe los movimientos de las extremidades.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

9. PLAN DE MANTENIMIENTO

UZIAS es un prototipo fabricado en una estructura básica de aluminio, lo que le permite obtener una alta resistencia a la corrosión. El aluminio de igual forma permite que sus movimientos y secuencias no requieran de una alta transmisión de potencia ya que la densidad del mismo es muy baja, por lo que se utilizaron motores DC de Voltaje bajos para generar y transmitir la potencia de movimiento. Por lo que los modos de falla estarán centrados en la parte Eléctrica. Normalmente el caso más extremo de falla es cuando éste presente una caída o en un caso anómalo pueda trabarse debido a alguna obstrucción. En estos casos los motores eléctricos tienden a ser muy sensibles a estas paradas ya que requieren un exceso de torque para poder vencer la obstrucción presentada, generando que estos requieren una mayor cantidad de corriente elevando su temperatura generando corto circuitos por el deterioro interno.

8.8.1. Modos de falla

8.8.1.1. Mantenimiento correctivo

8.8.1.1.1. Cambio de motores Eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que transforman energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables. Esto se logra por medio de pequeños embobinados de hilos de cobre. Estos hilos de cobre nunca deben entrar en contacto y las altas temperaturas tienden a afectar sus recubrimientos protectores. Los motores eléctricos encargados del desplazamiento del robot son:

- Motor eléctrico DC trabaja a 12 V y 154 RPM, con un torque de 300 onz/ft

Este tipo de motores pueden ser conseguidos con múltiples fabricantes como CANON, PITSCO y SEIKO por lo que se hace fácil reponerlos en caso de accidente o desgaste. Normalmente estos motores van a ser más críticos ya que tienden a localizarse en lugares donde la suciedad y los impactos de objetos pueden alcanzarlos fácilmente.

El otro tipo de motor que utiliza este robot son motores servo los cuales a pesar de realizar una función importante el torque que necesitan es mucho menor por lo que los riesgos disminuye.

- Servo motor de 12 Voltios

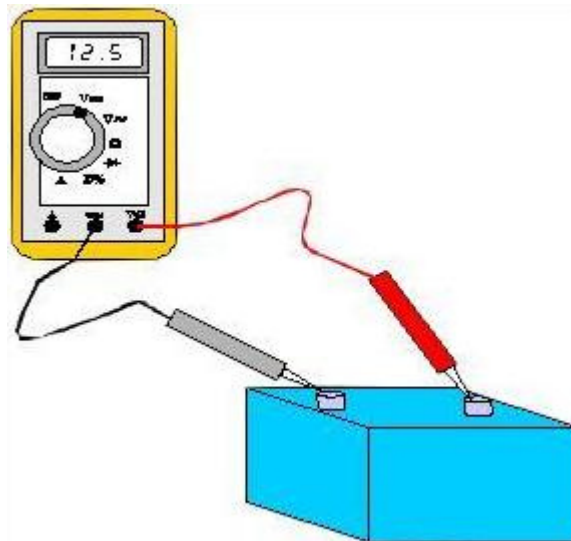
Este servo motor es el encargado del movimiento de los brazos y permite realizar a UZIAS un sin número de actividades. Estos motores son motores de catálogos de fácil acceso para múltiples fabricantes

Recomendaciones: los motores deben ser cambiados cuando se encuentren con coloraciones y olores extraños, o posean algún tipo de enmendadura en su carcasa. Ya que esto puede significar que estos estén generando corto circuito o se realice un falso contacto.

8.8.1.1.2. Cambio de Baterías

UZIAS al ser un robot que tiene como necesidad el poderse trasladar de un lado a otro por lo que el uso de las baterías se hace casi indispensable. Las baterías por tener una vida útil es necesario su cambio o restablecimiento de su carga para que pueda estar en un estado óptimo nuevamente. La batería utilizada también pertenece a múltiples catálogos fabricantes como FULIBATTERY PROBATTERY etc.

Figura 15 Medición con Voltímetro.



Fuente: El autor.

Para asegurarnos que la batería se encuentra descargada o se encuentra dentro de los niveles de trabajo es necesaria la utilización de un voltímetro para revisar que el voltaje se encuentre entre 11,8 Voltios -12,3 voltios. Caso tal se encuentre por fuera de estos parámetros puede que la batería este sobre cargada o descargada causando en los dos casos dificultades y pérdidas en los circuitos.

8.8.1.1.3. Cables en mal estado

Los cables son los elementos que transfieren la energía eléctrica y cualquier daño en ellos significa una falla en el robot, ya que se puede presentar sobre voltajes y cortos circuitos en las líneas generando daños en los elementos eléctricos por lo que se hace necesario el cambio y enrutamiento del nuevo cable.

Figura 16 Modo de falla conexiones.



8.8.1.1.4. Piezas de estructura en mal estado.

A pesar de que El aluminio posea una cantidad de propiedades favorables para la construcción, su dureza superficial puede ocasionar que alguna de las piezas durante su vida de trabajo sufra agrietado o picaduras ocasionando un mal funcionamiento en el robot o presentado un peligro y riesgos de seguridad para el personal que lo utiliza. Por lo que se hace necesario identificar y corregir o reemplazar aquellas piezas que presenten deformaciones visibles o grietas que puedan generar cortaduras o mal funcionamiento en el robot.

8.8.1.1.5. Fallas en elementos de Sujeción

Uzias de igual forma posee una gran cantidad de elementos de sujeción como tornillos y pasadores los cuales permiten su funcionamiento. El aflojamiento o la pérdida de alguno de estos elementos puede ocasionar el mal funcionamiento del robot por lo que se hace necesario identificar partes faltantes o elementos flojos ya sea para realizar el cambio de la pieza o realizar el ajuste necesario.

8.8.1.2. Mantenimiento preventivo

Para asegurarnos del buen funcionamiento es necesario que el robot posea una revisión mensual en la cual se pueda verificar los siguientes componentes por separado:

8.8.1.2.1. Baterías

Se realiza la medición del voltaje de las Baterías de manera que se encuentren en el rango anteriormente mencionado.

Figura 17 Baterías Recargables.

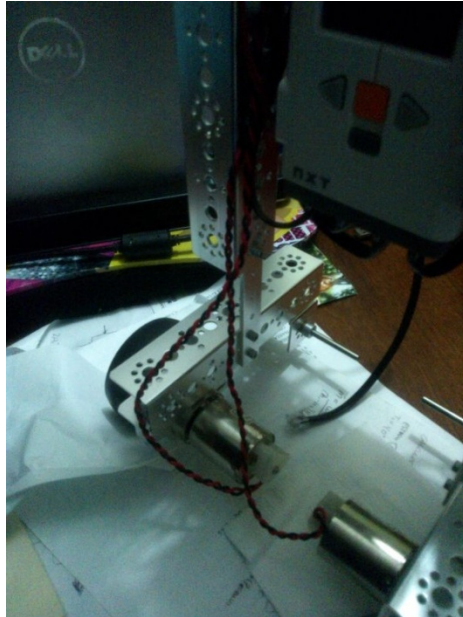


Fuente: El autor.

8.8.1.2.2. Cableado

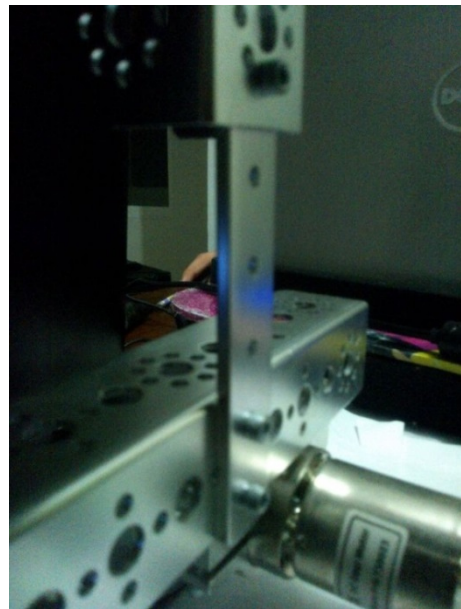
Se revisa el cableado del robot para ver si existe en ellos marcas o peladuras y si en sus terminaciones existen suciedades. Si es así remover con líquido eléctrico.

Figura 18 Conexión Motores DC.



Fuente: El autor

Figura 20 Sujetadores



Fuente: El autor

8.8.1.2.3. Elementos de sujeción

Realizar una inspección visual de los diferentes elementos de sujeción y realizar retorqueo de tornillos y pasadores en casos necesarios.

Figura 19 Elementos de sujeción.



Fuente: El autor

9. CONCLUSIONES

- El prototipo pudo entrar en movimiento, desplazándose con facilidad y sin presentar irregularidades.
- El movimiento de la cabeza es ininterrumpido y al mismo tiempo con fluidez, lo cual le da más realismo a sus expresiones.
- Los brazos del prototipo funcionan sin ningún inconveniente, no se presentan movimientos atípicos a los calculados
- El controlador funciona de manera óptima, permitiendo la comprobación mediante la programación de movimientos básicos.
- Las conexiones eléctricas del prototipo no presentan fallas funcionales, lo que permite el correcto funcionamiento del robot.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sociedad Americana de Autismo. Información general del autismo [en línea]. <<http://www.autism-society.org/espanol/>> [citado en 23 de Octubre de 2012].
- [2] ESTRADA, Luis A. Un robot ayuda a los niños autistas. En: QUO.mx [en línea] (21 de Junio de 2012). Disponible en: <<http://quo.mx/2012/06/21/pragmatas/un-robot-ayuda-a-los-ninos-autistas>> [citado en 23 de Octubre 2012].
- [3] DAUTENHAHN, K. Design spaces and niche spaces of believable social robots. En: Robot and Human Interactive Communication (10 de diciembre de 2002: Estados Unidos). Adaptive Syst. Res. Group, Hertfordshire Univ., Hatfield, UK. p. 192-197.
- [4] DAUTENHAHN, K. A quantitative technique for analysing robot-human interactions. En: Intelligent Robots and Systems (10 de diciembre de 2002: Estados Unidos). Adaptive Syst. Res. Group, Hertfordshire Univ., Hatfield, UK. p. 1132 - 1138 vol.2.
- [5] ROBINS, Ben; DICKERSON Paul; STRIBLING Penny; DAUTENHAHN Kerstin. Robot-mediated joint attention in children with autism: A case study in robot-human interaction (1 enero de 2004, Estados Unidos). John Benjamins Publishing Company. Volume 5, Number 2, 2004, pp. 161-198(38).
-
- [6] Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? Estados Unidos. 1 diciembre de 2005. Universal Access in the Information Society, Volume 4, Issue 2, pp 105-120. ISSN 1615-5289.

[7] DUQUETTE, Audrey; MICHAUD, François; MERCIER, Henri; Exploring the Use of a Mobile Robot as an Imitation Agent with Children with Low-Functioning Autism, Enero de 2007, Canada Research Chair (CRC), the Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) and the Canadian Foundation for Innovation (CFI).

[8] FEIL-SEIFER MAJA, David; MATARIC, J. Automated Detection and Classification of Positive vs. Negative Robot Interactions With Children With Autism Using Distance-Based Features, Mayo de 2011, University Park, Los Angeles, California, USA 90089.

[9] ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, EMBC, 2011 ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE. (Aug. 30 2011-Sept. 3 2011 Boston, MA. USA) Conference Publications. p. 4515 – 4518.

[10] BARRIENTOS, Fundamentos De Robótica. 3ra ed. Mc Graw-hill. Mexico 2007, 326 pág. ISBN 8448156366

[11] PEREZ, Mario Alberto; PEREZ HIDALGO, Analía; BERENGUER, Elisa Perez. Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. Año 2008, Universidad de San Juan.