

Diseño y construcción de un robot cuatricar asistente de simple tracción con seguimiento de esqueleto por medio del dispositivo de adquisición y procesamiento de imágenes Microsoft Kinect

J. Leoro, S. Romero

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Escuela Politécnica del Ejército Sede, Sangolquí, Pichincha, Ecuador

RESUMEN: Durante los últimos años, la tecnología ha ido abriendo caminos para que proyectos que ayudan a mejorar la calidad de vida de personas con alguna clase de discapacidad sean realizados con mayor facilidad. En la Universidad Interior de Iberia en Portugal, se crea el primer prototipo de carrito de compras autónomo utilizando el dispositivo Microsoft Kinect conjuntamente con las librerías SDK Kinect para Windows liberadas en junio del 2011. En el Ecuador existe un porcentaje de personas con discapacidad física del 4%, porcentaje que ha sido incentivo de este proyecto. En este proyecto se busca mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos que sufren de discapacidad física, facilitando una actividad diaria, como es el ir de compras a un supermercado con un prototipo de robot asistente utilizando el dispositivo Kinect para Windows. El prototipo fue diseñado tomando en cuenta la antropometría y la velocidad promedio de una persona discapacitada para poder adaptar al prototipo a las necesidades de la persona discapacitada, el robot sigue su trayectoria y se comunica por medio de comandos de voz. Una vez construido el robot mostró excelentes resultados, después de haber realizado pruebas en un supermercado, donde el seguimiento de trayectoria y el reconocimiento de comando de voz obtuvieron un puntaje de 92.57% y 83.33% correspondientemente. De los resultados obtenidos en las pruebas de campo realizadas, se puede concluir que el prototipo de robot puede asistir a una persona discapacitada.

ABSTRACT: Over the last years, technology has been opening paths for projects that help to improve the quality of life of persons with any class of disability, so they can be done with more facilities. In the Interior University of Iberia in Portugal, is developed the first autonomous supermarket trolley prototype using the Microsoft Kinect device together with the SDK Kinect for Windows libraries released in June of 2011. In Ecuador exists a 4% of people with physical disabilities, this percentage has inspired this project. This project seeks to improve the quality of life of

Ecuadorians who has physical disabilities, making one daily activity easier, such as go to shop at the supermarket with a assistant robot prototype using the Kinect for Windows device. This prototype was designed based on a person with disability anthropomorphic and speed to adapt the prototype to the person's needs, the robot follows the path and it communicates through voice commands. Once the robot was built, it showed excellent results, after being through some test in a supermarket, where the path tracking and the voice commands recognition got a score of 92.57% and 83.33% correspondingly. With these results obtained in the test, we can conclude that the robot prototype can assist a person with disabilities.

PALABRAS CLAVE: Kinect, Visión artificial, seguimiento de trayectoria, comandos de voz.

1. INTRODUCCIÓN

Sabiendo la problemática del proyecto se comenzó realizando un análisis de los requerimientos del usuario utilizando la metodología de la matriz de la función de la calidad (QFD), obteniendo como resultado las características técnicas a tomar en cuenta en el diseño.

Siguiendo la metodología planteada se realizó el diseño del elemento principal, luego se dividió al robot en sistemas y se subdividió a cada uno en sus diseños electrónicos, eléctricos y mecánicos correspondientemente.

Una vez diseñado cada uno de los elementos del robot, se analizó el sistema de visión artificial, que consta del dispositivo Kinect para Windows, el cual se sometió a una validación para verificar que este dispositivo sea el indicado para nuestra aplicación. Teniendo todos los elementos diseñados y elegidos, se procede con la construcción del robot, utilizando técnicas básicas de construcción.

Ya con el robot construido se realiza la programación del software utilizando lenguaje C# y utilizando las librerías SDK para el Kinect para Windows, de esta manera se logró realizar la adquisición de datos con el sensor Kinect y procesar los datos por medio del computador.

Para demostrar la fiabilidad del robot, se realizaron finalmente pruebas de campo en un supermercado, obteniendo excelentes resultados, concluyendo que el robot puede asistir a una persona discapacitada.

2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El QFD por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment) muestra los requerimientos del cliente tanto en el proceso de diseño, manufactura y marketing. Este método nos permite lograr la correspondencia entre estos requerimientos con las características de ingeniería y además nos permite conocer las relaciones que pueden existir entre las diferentes características técnicas de diseño.



Proceso del método QFD.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los diferentes requerimientos y características técnicas se analizan dentro de la matriz de la calidad.

	Prioridad	Porcentaje de prioridad	Dimensiones del carrito	Potencia del motor	Peso del carrito	Consumo de energía	Velocidad del carrito	Relación de salida caja reductora	Resistencia de la estructura	Acabados superficiales	Interfaz amigable con el usuario	Costo de elementos
Comodidad para colocar y sacar los productos	3	8,3	⊖							Δ		
Rápido	4	11,1		⊖	⊖		⊖	⊖				⊖
Alta capacidad de productos	5	13,9	⊖	⊖		Δ	⊖	Δ	⊖			Δ
Buena autonomía	4	11,1		⊖	⊖	⊖	⊖	Δ				⊖
Buen aspecto	3	8,3	Δ							⊖	⊖	Δ
Seguro	3	8,3		⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖		Δ
Capacidad de subir rampas	2	5,6		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖				⊖
Bajo costo	5	13,9	Δ	⊖	Δ	⊖	⊖	Δ	⊖	⊖	Δ	⊖
Silencioso	3	8,3		⊖			⊖					
Fácil de utilizar	4	11,1									⊖	
Ponderación			222,0	483,6	163,9	280,6	366,6	189,2	241,5	149,6	138,7	272,6
Porcentaje de Ponderación			8,9	19,3	6,5	11,2	14,6	7,5	9,6	6,0	5,5	10,9

Matriz despliegue de la función de calidad del sistema (QFD).

FUENTE: Elaboración propia.

Como resultado se obtiene el elemento principal el cuál es el primero en ser caracterizado, la matriz lanzó como resultado que el elemento principal de este diseño es el motor.

Analizando un diagrama de cuerpo sencillo se obtuvo la fuerza que necesitan los motores, y sabiendo que la velocidad que se requiere que tenga el robot es de 0,6m/s se obtiene un motor con una potencia de 224W.

3. DISEÑO DEL ROBOT

Para realizar el diseño se divide al diseño en sistemas, teniendo así, os siguientes sistemas:

- Motriz y estructura.
- Seguimiento y control.
- Detección.
- Alimentación.

Cada uno de estos sistemas tiene elementos que forman parte del diseño tanto eléctrico, electrónico como mecánico. En este capítulo se mostrarán los sistemas primero de manera general para después desarrollarlos dentro del diseño. Es necesario recalcar que existen ciertas características de un sistema que sirven como dato para el diseño de elementos de otro sistema, por ejemplo, la corriente de consumo de un componente es un dato necesario para el diseño dentro del sistema de alimentación.

Sistema motriz y estructura.

Este sistema es el encargado del movimiento del robot y del soporte para todos los elementos. Dentro de este sistema se encuentra el motor que es el elemento principal del diseño del RAD4-23.

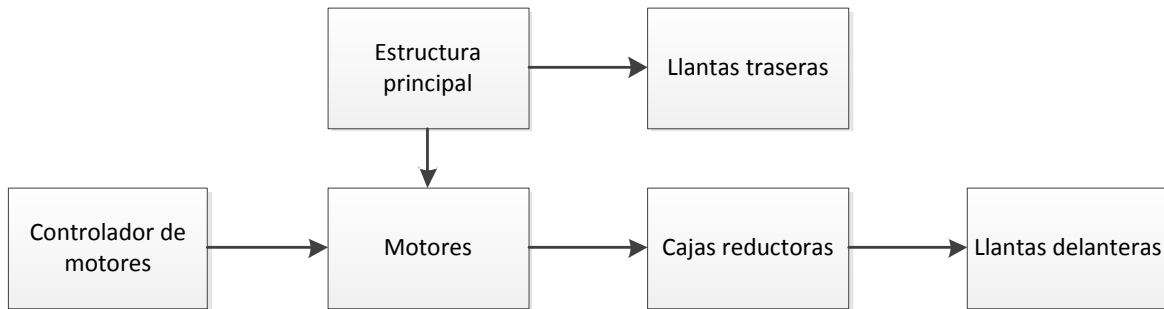


Diagrama de bloques del sistema motriz y estructura.

FUENTE: Elaboración propia.

Sistema de seguimiento y control.

Este sistema es el encargado de reconocer al usuario, analizar su posición respecto al robot y decidir el movimiento del robot.

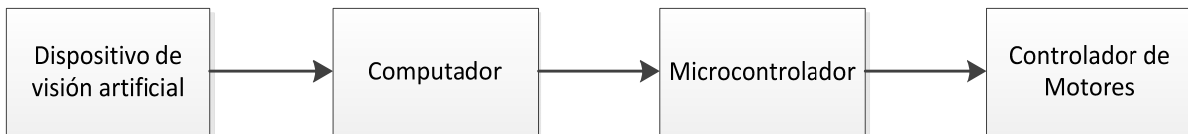


Diagrama de bloques del sistema de seguimiento y control.

FUENTE: Elaboración propia.

Sistema de detección.

Adicionalmente a la adquisición de la posición del usuario, es necesario detectar los objetos cercanos al robot, para evitar colisiones durante el movimiento, por esta razón es necesario agregar sensores para medir constantemente las cercanías del RAD4-23. El sistema de detección reconoce obstáculos en la parte delantera del RAD4-23 para evitar colisiones durante el movimiento y en la parte trasera del robot para evitar colisiones al momento de realizar los giros.



Diagrama de bloques del sistema de detección.

FUENTE: Elaboración propia.

Sistema de alimentación

Este sistema es el encargado de proveer energía a todos los elementos eléctricos y electrónicos, además de brindar las protecciones eléctricas.

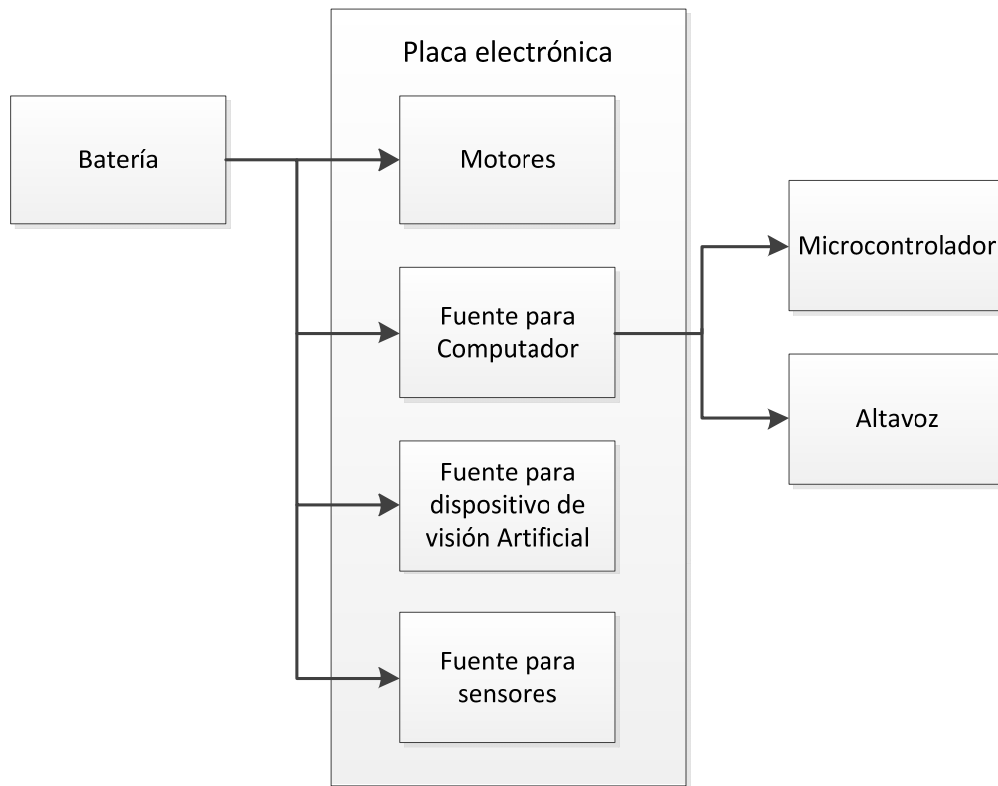
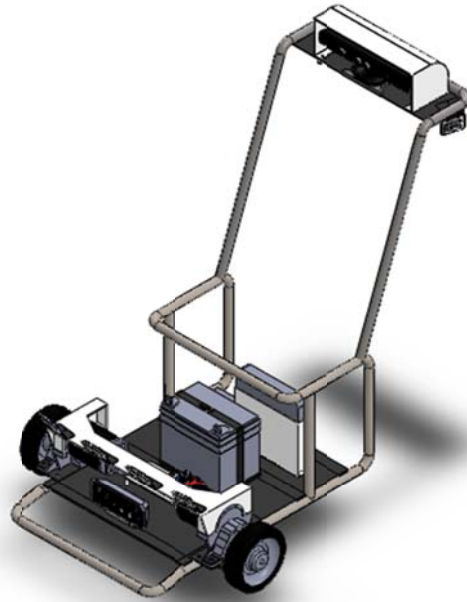


Diagrama de bloques del sistema de alimentación.

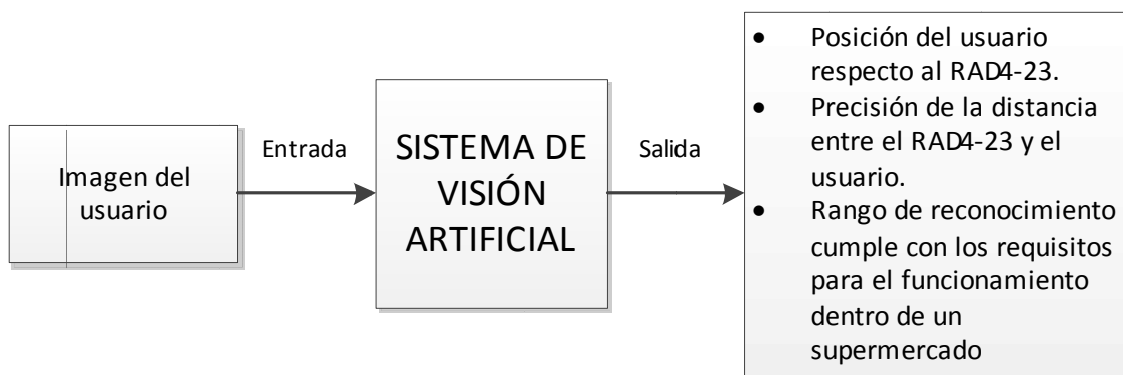
FUENTE: Elaboración propia.

Luego de haber diseñado los elementos se obtiene como resultado un aproximado del resultado del robot.



4. SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

El objetivo principal del RAD4-23 es seguir al usuario mientras este realiza compras en un supermercado. Para lograr este cometido se decide usar un dispositivo de adquisición de imágenes y algoritmos de visión artificial para obtener la posición del usuario.



Representación del sistema de visión artificial como caja negra.

FUENTE: Elaboración propia.

Para cumplir con estos requerimientos se utiliza el sensor Microsoft Kinect para Windows, en el cual será necesario hacer una serie de pruebas para evaluar los datos obtenidos por el mismo y validar su uso.

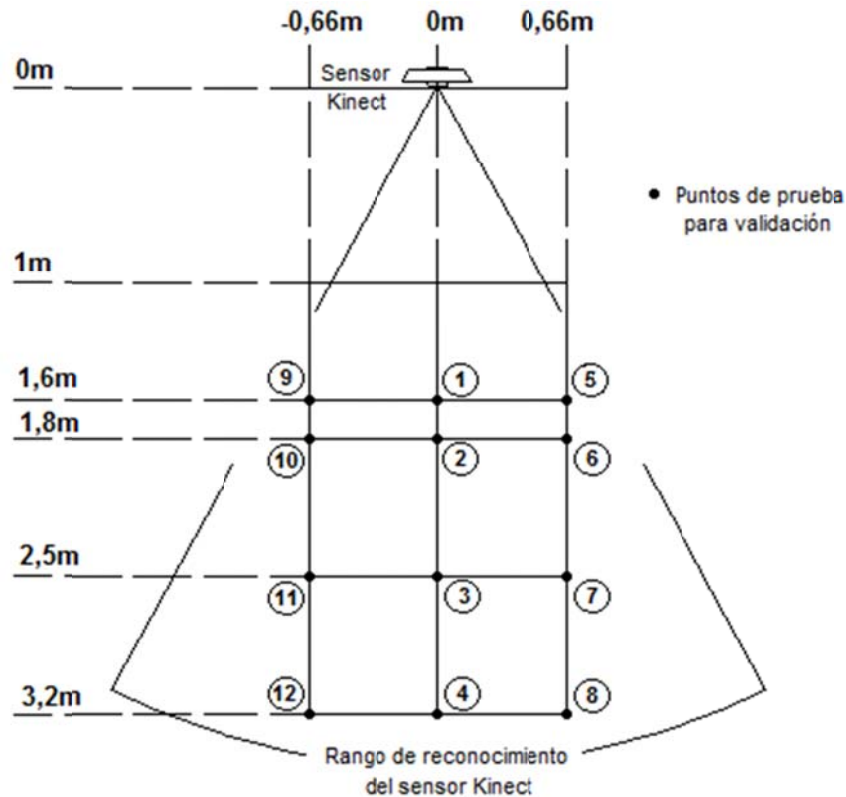


Sensor Kinect para Windows.

FUENTE: Kinect para Windows. Recuperado de: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>, Inglés, 2013.

Para cumplir con los objetivos de este proyecto es necesario que el sensor Kinect junto con las librerías de Kinect para Windows SDK nos entregue datos que cumplan con los requerimientos del sistema de visión artificial. Por lo que fue sometido a pruebas de funcionamiento para comprobar que cumpla con estos requerimientos.

La ejecución de estas pruebas tiene como objetivo la medición de la posición del usuario por parte del Kinect y la precisión que este nos entrega en diferentes ubicaciones del usuario, las cuales se eligieron y limitaron según el ambiente de un supermercado.



Plano de pruebas

FUENTE: Elaboración propia.

En este plano tenemos los diferentes puntos donde se realizarán las pruebas respectivas. Una vez obtenidos los resultados se puede decir entonces que la precisión del sensor Kinect cumple el requisito de precisión del sistema de visión artificial.

5. CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT.

Se indica como se fue realizando la construcción de todos los sistemas que conforman al RAD4-23, es decir, se muestra cómo se fueron ensamblando los diferentes elementos, y las conexiones eléctricas que se realizaron entre estos elementos.

Previo a la construcción de los diferentes sistemas cabe resaltar, que se realizaron algunos cambios al diseño comercial del RAD4-23 por motivos económicos y de mano de obra, por lo que se comienza con los cambios realizados y los análisis mecánicos correspondientes de los nuevos componentes.

De manera que se tiene:

- Cambios realizados al diseño comercial del RAD4-23.
- Sistema motriz y estructura.
- Sistema de seguimiento y control.
- Sistema de detección.
- Sistema de alimentación.
- Resultado de la construcción del RAD4-23.

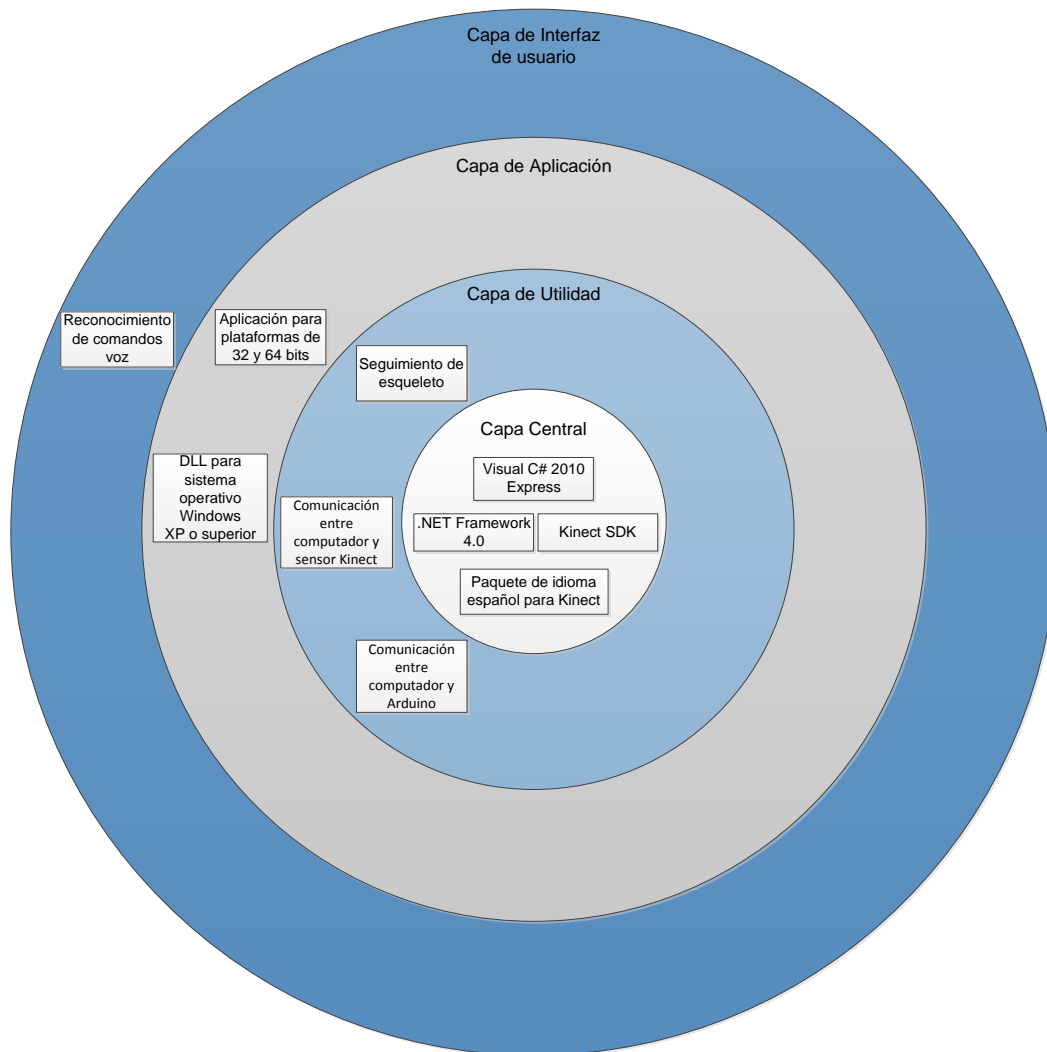
Una vez realizada la construcción y la conexión de los elementos se obtienen los siguientes resultados.



6. PROGRAMACIÓN.

Para la representación de la arquitectura del programa se decide utilizar una arquitectura estratificada, en la cual se crean diferentes capas y cada una realiza operaciones que progresivamente se aproximan más al cuadro de instrucciones de máquina, donde:

- La capa externa tiene los componentes que sirven a las operaciones de interfaz de usuario.
- La capa intermedia proporcionan servicios de utilidad y funciones de software de aplicaciones.
- La capa interna tiene los componentes que realizan operaciones de interfaz de sistema.



Arquitectura del programa.

FUENTE: Elaboración propia.

Para facilitar el entendimiento de la programación del RAD4-23 se la divide en subprocesos. Al utilizar subprocesos además se puede organizar la información mejor permitiendo visualizar el programa de forma general y después abarcar cada subproceso por separado.

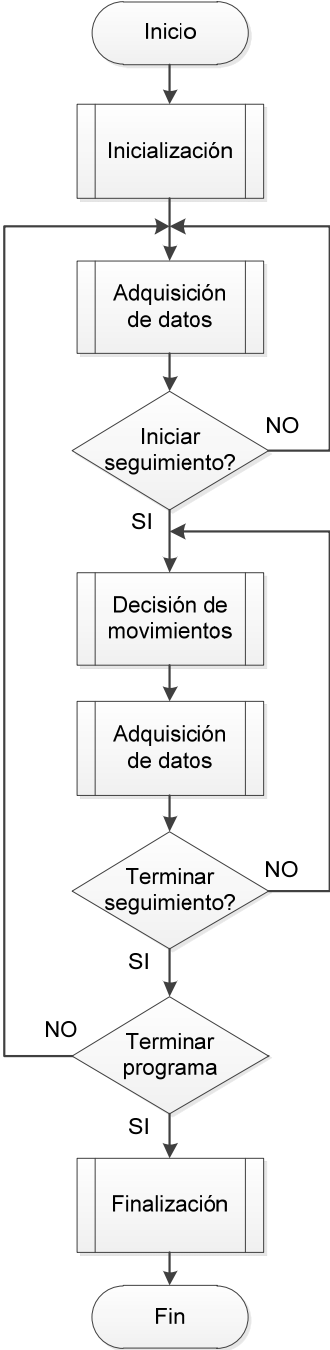


Diagrama de flujo del programa del RAD4-23.

FUENTE: Elaboración propia.

Los subprocesos en que se dividió el programa son:

- Inicialización
- Adquisición de datos
- Decisión de movimientos
- Finalización

7. VALIDACIÓN GENERAL.

Luego de haber construido al RAD4-23 y de haber realizado la programación correspondiente, se somete al robot a pruebas de campo para verificar que cumpla con el objetivo propuesto al inicio de este documento. Después de haber diseñado las pruebas necesarias para evaluar el funcionamiento el RAD4-23, los datos recopilados son analizados para obtener resultados que nos permitan calificar su funcionamiento. El programa utilizado para estas pruebas fue cargado al computador portátil y corre en el ambiente de programación, sin embargo en el diseño comercial del RAD4-23 el programa será parte del sistema embebido del computador.

Las pruebas fueron realizadas en las instalaciones del comercial Mega Kywi de la avenida Eloy Alfaro en la ciudad de Quito, aprovechando el amplio espacio entre perchas que existe en estas instalaciones se realizaron con total comodidad las pruebas establecidas.

Resumen de resultados de las pruebas de seguimiento y control.

Pruebas de seguimiento y detección	Prueba	Sin personas	Con personas
	Prueba 1	4,4	5
	Prueba 2	4,2	5
	Prueba 3	5	4,8
	Prueba 4	5	4,8
	Prueba 5	5	4,6
	Prueba 6	4,2	4,6
	Prueba 7	4,6	4,6
	Prueba 8	N/A	5
	Prueba 9	N/A	4,4
	Promedio	4,63	4,8
	Porcentaje	92,57%	95,11%

FUENTE: Elaboración propia.

Resumen de resultados de reconocimiento de comandos de voz.

Pruebas de reconocimiento de comandos de voz	Prueba	Sin ruido	Con ruido
	Prueba 1	3	2,6
	Prueba 2	2,6	2,4
	Promedio	2,80	2,5
	Porcentaje	93,33%	83,33%

FUENTE: Elaboración propia.

El porcentaje obtenido es del 92,57% cuando no hay personas en las cercanías y del 95,11% cuando si las hay. Se esperaba que el resultado con personas sea menor debido a que tiene mayores condiciones para el funcionamiento correcto, sin embargo este resultado se debe al problema de las llantas lisas, ya que en ciertos espacios resbalaron y en otros no, y en los puntajes que se anotaron cuando existían personas cerca del robot este no resbaló.

Con fines de calificación general se toma la peor calificación aunque el problema de las llantas sea solucionable, de manera que en general el RAD4-23 tiene una calificación del 92,57% en el seguimiento. Si se soluciona el problema de las llantas lisas utilizando un adhesivo antideslizante se obtendría un puntaje mayor.

Con respecto al reconocimiento de comandos de voz, se puede ver que cuando no tenemos ruido en el ambiente la calificación que obtuvo es del 93,33% y con ruido es del 83,33%. En este caso tomamos en cuenta la calificación con ruido debido a que en el ambiente dentro del supermercado puede existir ruido en cualquier momento. De manera que la calificación del reconocimiento de comando de voz es del 83,33%.

8. CONCLUSIONES.

- El del prototipo de robot cuatricar asistente de simple tracción para personas discapacitadas realizado, cumple el funcionamiento planteado, ya que se logró una calificación del 92,57% de funcionalidad durante el seguimiento y del 83,33% de reconocimiento de comandos de voz. De manera que el RAD4-23 sí puede asistir en forma satisfactoria a una persona discapacitada mientras realiza compras en un supermercado.

- El diseño del RAD4-23 se adaptó perfectamente a la antropometría de una persona con discapacidad física que utiliza silla de ruedas, debido a que las dimensiones del robot brindan comodidad al usuario. Dentro del alcance de este proyecto, la canastilla para los productos no es parte del diseño, sin embargo se hicieron simulaciones de ubicar o extraer productos del área correspondiente para esta actividad y se obtuvo muy buenos resultados.
- Como primer diseño los resultados obtenidos son excelentes por parámetros de funcionalidad, seguridad y confiabilidad.
- El RAD4-23 como fue bautizado el robot asistente, cumplió con todas las metas propuestas para los fines de este proyecto de manera que se concluye que este proyecto tuvo el éxito esperado.

9. REFERENCIAS.

¹http://www.icevi.org/latin_america/publications/quito_conference/analisis_de_la_situacion_de_las_.htm, Análisis de la situación de las discapacidades en el Ecuador, Cazar Ramiro, Noviembre 16 del 2011.

² <http://www.engadget.com/2006/08/11/b-o-s-s-shopping-cart-follows-you-around/>, B.O.S.S. shopping cart follows you around, Darren Murph, Agosto 11 del 2006.

³ Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural. Segunda edición. 2009. Objetivos nacionales para el Buen Vivir.

⁴ Comité Español de Automática. Libro Blanco de la Robótica: De la investigación al desarrollo tecnológico y futuras aplicaciones. 1era ed. CEA-GTRob. 2008. pp 28-67.

⁵ <http://www.ifr.org/service-robots/>, Inglés, 17 de diciembre del 2012.

⁶ <https://sites.google.com/a/cetys.net/educacion-especial/discapacidad-motora>, Español, 14 de diciembre del 2012.

⁷ Ministerio de vivienda del Gobierno de España, Accesibilidad en los espacios públicos urbanizados, Español, 11 de marzo del 2010, Sección 3.2.3. Semáforos, pp 36.

⁸ YACUZZI Enrique, MARTÍN Fernando, QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS, Universidad del CEMA.

⁹ Fricción y coeficientes de fricción, http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html, Inglés, 13 de diciembre del 2012.

¹⁰ K.Osman N. Bojčetić y D. Marjanović. IMPLEMENTATION OF MODULAR ARCHITECTURE OF COOLING GENERATORS, Inglés, Dubrovnik – Croatia, 2008, pp 89.

¹¹ NOTAS DE LA VERSIÓN, Microsoft Kinect para Windows SDK V1.5.2, <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30455>, Inglés, 10 de septiembre del 2012.

¹² VERSALOGIC CORPORATION, Productos, <http://versalogic.com/products/ds.asp?productid=215>, Inglés, 04 de marzo del 2013.

¹³ EeveryMac.com, Especificaciones Mac Mini, http://www.everymac.com/systems/apple/mac_mini/specs/mac-mini-core-i5-2.5-late-2012-specs.html, Inglés, 11 de enero del 2013.

¹⁴ Guía de introducción de Arduino, <http://www.Arduino.cc/es>, Español, 15 de marzo del 2013.

¹⁵ MSDN, Documentación Kinect para Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347.aspx>, Inglés, 02 de febrero del 2013.