

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO ROBÓTICO PARA ORGANIZAR
MEDICAMENTOS

RAMIRO EDUARDO DOMÍNGUEZ CASTELLAR
CÓD.: 1801145

SEBASTIÁN PINILLA BRITO
CÓD.: 1800927

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN MECATRONICA
BOGOTÁ D. C.

2012

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO ROBÓTICO PARA ORGANIZAR
MEDICAMENTOS

RAMIRO EDUARDO DOMINGUEZ CASTELLAR
SEBASTIAN PINILLA BRITO

Trabajo de Grado Como Opción de Grado Para Optar al Título de Ingenieros en
Mecatronica

Director:
Ricardo Andrés Castillo Estepa
Ingeniero Mecatronica

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN MECATRONICA
BOGOTÁ D. C.

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente Jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá; 10 de Abril de 2012

He viajado, he conocido y aprendido que hay tantas maravillas en la vida, como galaxias en el universo y somos tan insignificantes en el flujo del destino que solo nos queda aferrarnos a la realidad que percibimos.

Pero no basta con aceptar esto porque cada paso que avanzamos en la vida adquirimos nuevos conceptos del universo como de la misma vida y el desarrollo de nuestro ser.

Dedicada a mis padres que me brindaron la vida, como también mi educación y me impulsaron a seguir adelante en la incertidumbre del destino.

SEBASTIAN PINILLA BRITO

“El individuo ha luchado siempre para no ser absorbido por la tribu. Si lo intentas, a menudo estarás solo, y a veces asustado. Pero ningún precio es demasiado alto por el privilegio de ser uno mismo.”

FRIEDRICH NIETZSCHE

Dedicada a mi familia y a mis seres queridos que siempre me están apoyando para seguir adelante en mis metas.

RAMIRO E. DOMÍNGUEZ C.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores damos agradecimientos a las personas que generosamente nos guiaron y colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo del proyecto. Expresamos nuestro agradecimiento a:

- RICARDO ANDRES CASTILLO ESTEPA, Docente de la Universidad Militar Nueva Granada.
- GERMAN ANDRES VARGAS TORRES, Ingeniero Mecatronico, Universidad Militar Nueva Granada.

Y a todas aquellas personas que hicieron posible la realización en buenos términos de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. Objetivo General	15
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	17
1.5. METODOLOGÍA	18
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. MARCO REFERENCIAL	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.2.1. Antecedentes	22
2.2.2. Estado del arte	24
2.3. MANIPULADORES ROBÓTICOS	25
2.4. BASE DE DATOS	28
2.4.1. Tipos	28
2.4.1.1. Según la variabilidad de los datos almacenados	29
2.4.1.2. Según contenido	29
2.4.2. Modelo de base de datos	30
2.5. FUNDAMENTOS DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES	31
2.5.1. Segmentación	32
2.5.1.1. Umbralizacion	32
2.5.1.2. Regiones	33
2.5.1.3. Detección de Bordes	33
2.5.2. Detección de posición	33

2.6. IDENTIFICACIÓN POR MEDIO DE CÓDIGO DE BARRAS	34
2.6.1. Características	35
2.6.2. Tipos	36
2.6.3. Ventajas y desventajas	37
3. DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DEL MANIPULADOR	39
4. DISEÑO DEL MANIPULADOR	46
4.1. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROBLEMA	46
4.1.1. Análisis e identificación de las variables del problema	46
4.1.2. Análisis Cinemático del manipulador	63
4.1.3. Modelo o sistema conceptual	66
4.1.4. Flujo de información	67
4.2. DISEÑO	69
4.2.1. Esquema mecánico	69
4.2.1.1. Cálculos de fuerzas y torques	69
4.2.2. Adquisición de Datos	88
4.2.2.1. Proceso de adquisición de datos	88
4.2.2.2. Configuración del lector de códigos de barras	88
4.2.2.3. Configuración de la cámara web	89
4.2.3. Representación de la interfaz del programa	89
4.2.3.1. Identificación del producto	89
4.2.3.2. Tratamiento de la adquisición de datos	90
5. RESULTADO DE LAS SIMULACIONES	100
6. CONCLUSIONES	107
7. RECOMENDACIONES	

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de lectores de códigos de barras	38
Tabla 2. Toma de datos durante un periodo de 7 días Unidades (s.)	51
Tabla 3. Medicamentos con su respectivo código de barras y posiciones en el estante	52
Tabla 4. Características de Lector de Código de Barras CCD 310	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de las partes de un manipulador [8]	27
Figura 2. Eslabones de un manipulador [5]	28
Figura 3. Diagrama de bloques del modelo dinámico del manipulador mediante Lagrange	39
Figura 4. Visualización del vector de movimiento	40
Figura 5. Secuencia de análisis del sistema	47
Figura 6. Estante Sencillo [32]	54
Figura 7. Estante de base móvil [31]	54
Figura 8. CAD del espacio de la droguería	56
Figura 9. Espacio de trabajo de un manipulador esférico	57
Figura 10. Espacio de trabajo de un manipulador esférico con base móvil	59
Figura 11. Espacio de trabajo de un manipulador Cartesiano	60
Figura 12. Método de Denavit – Hartenberg	64
Figura 13. Matriz Denavit	64
Figura 14. Parámetros Cinemáticos	65
Figura 15. Modelo o sistema conceptual	67

Figura 16. Diagrama de bloques para determinar las dimensiones de los eslabones	71
Figura 17. Sección móvil del Gripper	71
Figura 18. Análisis de momento torsión en la sección móvil del Gripper	72
Figura 19. Análisis del momento torsión del Gripper	73
Figura 20 Diagrama de cuerpo libre	75
Figura 21. Relación piñón cremallera [9]	76
Figura 22. Diagrama de Fuerzas en el eslabón de rotación	78
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre	79
Figura 24. Análisis de rotación	80
Figura 25. Diagrama de cuerpo libre	83
Figura 26. Relación corona- sinfín [12]	84
Figura 27. Diagrama de momento flector del eslabón horizontal	85
Figura 28. Diagrama de fuerzas del eslabón vertical	87
Figura 29. Análisis de velocidad	88
Figura 30. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa	92
Figura 31. Identificación del producto con fondo cualquiera	93
Figura 32. Detección de bordes y esquinas para una caja	94
Figura 33. Detección de bordes y esquinas para un producto	95
Figura 34. Identificación del brillo dentro del fondo	96

Figura 35. Prueba con objeto en el centro	97
Figura 36. Prueba con objeto corrido derecha 5 cm	98
Figura 37. Prueba con objeto corrido izquierda 5 cm	98
Figura 38. Identificación del producto con centro corrido en 6 positivo	99
Figura 39. Identificación del producto con centro corrido en 2 positivo	99
Figura 40. Identificación del producto con centro en 0	100
Figura 41. Exportaciones de eje vertical, eje horizontal y gripper	101
Figura 42. Estructura del manipulador en simulink	102
Figura 43. Selección de Unidades y variables a evaluar	103
Figura 424. Integración GUI a la simulación [30]	104
Figura 45. Imágenes tomadas en posición inicial y posición final [30]	105
Figura 46. Nueva interfaz de la simulación	106
Figura 47. Código en GUI	107
Figura 48. Ecuaciones de Verificación	107

RESUMEN

A medida que el tiempo pasa y la tecnología avanza, todo tiende a mejorar para poder presentar un mejor servicio y para tener mejor calidad de vida.

En este trabajo los autores buscan una solución a los problemas encontrados en las pequeñas droguerías, por tal motivo, pensaron en el diseño de un dispositivo robótico, capaz de facilitar las labores de almacenamiento en las pequeñas droguerías.

En lo que se refiere a la organización de medicamentos en una droguería de gama baja, los autores observaron que, existían estantes de gran altura que dificultaban la rápida organización de los productos, ocasionando que requieran la implementación de escaleras o bancos pequeños, los cuales demoraban considerablemente a los encargados al momento de atender a los clientes, realizando una acción y dejando a otra a medias, además que a la hora de proporcionar nueva mercancía dentro de los estantes, los encargados aumentaban el tiempo de atención al cliente, mientras realizaban la organización de los productos.

El proyecto de investigación consta de 2 partes principales, las cuales son: la identificación del producto por medio de un lector de códigos de barras, utilizado para conocer el producto e identificarlo, cabe resaltar que el proceso de reconocimiento de por medio del lector seguirá de forma manual por un encargado, y segundo el procesamiento de los datos obtenidos y suministrados en el modelo dinámico del manipulador robótico seleccionado para visualizar su funcionamiento.

Dentro de la identificación del producto se evaluara la posición en el eje X, por medio de una cámara web, a la hora de ubicarlo para su posterior manipulación, no siempre este se encontrara centrado o alineado con respecto al Gripper, en el eje X, ya que para resolver el problema en el eje Y y para facilitar la conversión de cm a pixeles, se trazo una línea base para la posición de los productos.

Por el diseño del dispositivo robótico, el cual estará limitado tanto a las restricciones del tamaño del estante, como a las de movilidad, y velocidad que se pueden encontrar en las droguerías de gama baja, teniendo en cuenta los puntos a evaluar se seleccionara un diseño de tipo cartesiano, para evitar obstaculizar a los encargados y a su vez facilitar los cálculos cinemáticos del manipulador.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas de las droguerías, es el tiempo que tardan en organizar de los medicamentos al momento de abastecerse de suministros y hacer inventario, esta droguería se abastece de suministros cada 3 días, y clasifican los medicamentos según su función o tratamiento.

El tiempo que los empleados de la droguería gastan para atender un cliente es de un promedio de 2 a 3 minutos, este tiempo es debido a que en ocasiones el medicamento no se encuentra en la posición correcta, o que no se encuentre disponible, todo esto es producido por la mala manipulación y almacenamiento de los medicamentos, incluyendo el tiempo utilizado por los empleados.

La droguería implementa dos sistemas para la adquisición de los medicamentos, estos sistemas pueden ser general o selectivo, cuando se implementa el sistema selectivo la organización de los productos tiene en cuenta solo los productos faltantes, mientras que una organización basada en un sistema general tiene en cuenta una inexistencia total de productos.

Cuando se organizan los medicamentos y se hace inventario de forma selectiva, los empleados de la droguería tardan entre 3 a 4 horas, en el proceso, durante este tiempo también se está atendiendo a los clientes, y en ocasiones se cometen errores como no ingresar una salida o venta de un producto en el inventario. Esto

trae consigo que a la hora de hacer el inventario los productos no concuerden, esto genera pérdidas de tiempo en ventas tratando de arreglar el problema.

Cuando el método o forma de organizar y hacer el inventario de los medicamentos es general, el tiempo que se emplea es considerablemente mayor, el tiempo promedio es de 1 día y medio.

Observando el espacio que posee la droguería se centralizo en tomar las dimensiones de la vitrina (270x270x70) cm, y al evaluar el tiempo extenso que implementan para realizar el inventario y organizar los medicamentos, trae consigo desorganización debido a errores humanos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un dispositivo robótico, para la organización de medicamentos en la vitrina de una droguería, implementando el proceso de identificación del medicamento, planeación de trayectorias del dispositivo robótico y simulando el movimiento del mismo cuando este organiza los medicamentos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los tiempos de los encargados de la droguería a la hora de posicionar y organizar los medicamentos en los estantes, calculando el promedio de estos tiempos en los momentos críticos (al momento de hacer inventario) con el fin de utilizar estos valores como parámetros para el diseño del dispositivo robótico.
- Estudiar diferentes arquitecturas de dispositivo robótico, basado en las restricciones de velocidad, espacio de trabajo y movilidad requeridas para el dispositivo.
- Implementar un programa capaz de procesar imágenes, para obtener tanto la posición (Centro en x), como la identificación del medicamento (Lector Código de Barras).
- Implementar un simulador basado en el modelo dinámico, para visualizar las trayectorias y velocidades del dispositivo robótico, cuando este está organizando los medicamentos.
- Generar una base de datos con posiciones (X , Y) de los medicamentos implementados en la simulación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El proyecto busca facilitar y mejorar el desempeño de los vendedores a la hora de organizar los medicamentos, con el fin de minimizar el tiempo empleado en el momento de organizarlos. También se busca una mejor organización de los productos, al momento de recibir nueva mercancía, y se tarda mucho tiempo organizando los medicamentos, en ocasiones se colocan los medicamentos en lugares incorrectos por estar atendiendo, esto genera al momento de vender un producto, tarden más tiempo al encontrarlos, e inclusive no encuentren el producto.

Por tal motivo, el dispositivo robótico busca disminuir los tiempos y generar una mejor organización para los medicamentos, ayudando a los empleados de la droguería, a que se encuentre más organizada.

1.4. ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA

El proyecto consistirá en el diseño de la parte mecánica del dispositivo robótico, tomando como base un estante de una droguería, para la obtención de los cálculos tanto del brazo, como de la cantidad de productos a tratar y hacer los respectivos análisis de posiciones, velocidades y aceleraciones. Así como también se tendrán en cuenta restricciones como espacio de trabajo, movilidad y objetos de manipulación.

Implementando un programa para que este reconozca los medicamentos y su posición (Centro en eje X), mediante marcadores o código de barras, con el fin de determinar la posición del medicamento en el estante, simulando el dispositivo robótico, de acuerdo a la posición deseada, los datos de la velocidad de movimiento, los tiempos de aceleración y desaceleración y la posición del efector final.

1.5. METODOLOGÍA

El proyecto se realizará con base en una metodología de tipo aplicada, debido a que empleara los conocimientos desarrollados en el transcurso de la carrera, para la búsqueda de una posible solución de un problema.

En el proceso de desarrollo de la solución se procederá de la siguiente manera:

- Realizar un estudio de los tiempos utilizados a la hora de organizar los medicamentos en la droguería, y a la hora de hacer inventario, generando unos tiempos promedios que servirán de parámetros para el diseño del dispositivo robótico.
 - Teniendo en cuenta que no todos los días se contarán con el mismo número de clientes, se tratará de analizar los tiempos en situaciones críticas, cuando hay más movimiento en las droguerías.

- Estudiar las diferentes arquitecturas de dispositivo robótico, analizando las restricciones de tamaño, movilidad y espacio de trabajo.
 - Teniendo en cuenta los tamaños promedios de los estantes, en los cuales se ubicara el producto
 - Observando la movilidad de los empleados, a la hora de organizar y buscar los productos, en los días más concurridos.
 - Analizando la forma en la que los empleados, manipulan los productos a la hora de organizarlos en los estantes.

- Diseñar un dispositivo robótico que satisfaga las condiciones mínimas de trabajo a la hora de organizar los medicamentos y de manipularlos.
 - El dispositivo robótico o manipulador debe ser capaz de movilizarse y manipular los productos sin obstaculizar a los empleados, por tal motivo la toma de datos de los tiempos y la forma de trabajar de los empleados es importante.

- Identificar imágenes y transformarlas en datos, en este caso la posición en el eje X del objeto, por medio del tratamiento de imágenes, establecer una tabla en la cual se identificaran la posición del objeto y a qué código de barras corresponde para la simulación.
 - Por medio del lector de códigos de barras se identificara el producto
 - Con la cámara web se identificaran características del producto como son la posición en x y tamaño o ancho.
 - Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, se usara una relación entre las características del producto y su posición así como

también las variables del manipulador, como son la posición en X y posición en Y en el estante del producto.

- Identificar los problemas en la precisión y la toma de imágenes, ya sea mediante un código de barras o identificación de las imágenes.
 - Analizar los problemas a la hora de identificar el producto por medio del código de barras, o de la posición por medio de la cámara web.
- Simulación del dispositivo robótico, generando las respuestas de velocidades, aceleraciones, y posiciones del dispositivo robótico, además de los tiempos gastados efectuando la operación.
 - Simular el comportamiento del manipulador a la hora de posicionar el producto en el estante.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO REFERENCIAL

Fundamentos Teóricos

- **Cinemática:** Es el estudio analítico del movimiento que se confirma de 2 métodos, el directo que determina la posición y orientación del efector mediante un sistema de coordenadas y el inverso que a partir del efector final evalúa la configuración que debe optar para posicionarse y orientarse.
- **Efector final:** Es una herramienta con el cual se pueden manipular objetos, estos suelen tener diferentes formas y tamaños dependiendo de su utilización, o finalidad.
- **Umbralización:** Es una técnica de segmentación, que nos permite separar por medio de un valor de umbral los pixeles de una imagen, esta técnica es muy utilizada para identificar objetos realizando sus bordes, con respecto al fondo.¹
- **Grados de libertad:** Los grados de libertad equivalen a los movimientos que puede realizar un manipulador o una articulación, ya sean rotacionales o translacionales.

¹ MARTINES MEJIA, David Alberto. Interceptor de trayectorias basado en visión artificial. Bogota 2005

- **Articulación:** Las articulaciones permiten al manipulador tener uno o más grados de libertad, los cuales le permiten al manipulador moverse y desplazarse.
- **Intensidad:** es el valor que puede tomar cada pixel ²
- **Imagen Digital:** Una imagen digital no es más que un arreglo matricial donde el valor de cada elemento, representa el nivel de intensidad de iluminación de cada pixel y poseen unas coordenadas (XY). ³
- **Bases de datos:** Es un conjunto de datos organizados y relacionados entre sí, a los cuales se puede tener acceso. ⁴

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Antecedentes

Farmacias como Gimeno ubicada en Barcelona España, automatizo su sistema mediante la intervención de la empresa 3AR, que esta principalmente enfocada en beneficiar a las farmacias, se realizo un estudio topográfico de su distribución para optimizar el espacio e instalar el manipulador, la empresa suministra tres

² WAINSCHEKER, Ruben. MASSA, José Maria. Procesamiento digital de imágenes. 2011

³ RODRIGUEZ ARAUJO, Jorge. Introduccion a los sistemas de visión artificial. 2009

⁴ Pascual Sevillano, Maria Ángeles. Propuestas de enseñanza y aprendizaje con bases de datos. Editorial: Red Comunicar. 2006

modalidades de control de sistema como también el medio en el que entrega los productos, es decir, le permite al usuario seleccionar mediante que sistema de transporte de entrega, posteriormente esto suministro ventajas en la atención personalizada de los clientes, mayor calidad de vida de los farmacéuticos y un incremento en las ventas.⁵

Otras farmacias han optado por automatizar la selección y distribución de medicamentos, de manera que permita agilizar el proceso y disminuir el riesgo de seleccionar mal los medicamentos para los clientes. El funcionamiento de este robot es la de tomar la orden de un medico, para los medicamentos de un paciente, buscando así donde se encuentra posicionado el manipulador donde se encuentra el medicamento.⁶

Aunque este robot básicamente trabaja en la misma área, su aplicación es completamente diferente, ya que a diferencia del propuesto, este busca los medicamentos ya organizados, en cambio el dispositivo robótico, busca organizar los medicamentos. La idea es básicamente la misma ya que los dos tienen las posiciones del medicamento, en lo que difieren es la aplicación que este tiene.

Este diseño fue construido básicamente para aplicaciones industriales, con el fin de desempeñar funciones de manipulación, carga y descarga de objetos. Además se caracteriza por dos modos de operación, manual y automático, dándole a este la posición del objeto y este se dirige a la posición, con un buen grado de precisión.⁷

⁵ Servicios tecnológicos para la gestión de medicamentos en farmacias. Barcelona España. PYSSA, Pol. Industria Zona Franca Sector Central. www.pyssa.com, www.3ar.es

⁶ ACKERMAN, Evan. Slick Robotic System Makes UCSF's Pharmacy Safer and More Efficient, IEEE Spectrum.

⁷ ROJAS, Jorge. INGEBORG, Mahla A. MUÑOZ, Gerardo. CASTRO A. Daniel. Diseño de un sistema Robótico Cartesiano Para Aplicaciones Industriales.

2.2.2. Estado del Arte

Durante un tiempo las personas visionarias vieron que no solamente los avances tecnológicos podían ser orientados en esa área, estos visionarios sembraron la semilla que permitió la distribución parcial en cada uno de los campos de trabajo entre ellos la medicina donde no solo en la creación sino en la manipulación y tratamiento de medicamentos.

El deseo de aumentar la eficiencia mediante nuevas tecnologías, despertó un interés creciente en la implementación de sistemas que optimicen el proceso así como la seguridad del mismo. Entidades como: 3AR Almacén Automático Robotizado (España) y UCSF Medical Center (EE.UU. San Francisco), utilizan un sistema que permitió mejorar las farmacias en el ordenamiento de los productos, mediante un manipulador robótico que optimiza su funcionamiento, como también el espacio de los estantes que trabaja, debido a los errores que se presentaban a la hora de organizar o dispensar los medicamentos.

La realización de esta proeza que ahora compite en el mercado es la realización de muchos estudios y análisis de sistemas y equipos a implementar en un espacio restringido, dentro de ello la 3AR como la UCSF implementaron un manipulador cartesiano ya que minimiza su área de traslación dando así una muy considerable área de trabajo en la que realiza su función de organizar o distribución de los productos (medicamentos).

2.3. MANIPULADORES ROBÓTICOS

Dentro de ésta sección se mencionarán los diferentes tipos de manipuladores, las morfologías o configuraciones básicas que los conforman como también las cinemáticas y el cálculo de trayectorias. Posteriormente, se seleccionará una configuración, de la cual se evaluarán sus ventajas y desventajas, como también su desempeño en la organización de medicamentos en el área de trabajo determinado por las farmacias de gama baja.

Morfología (Tipos de configuraciones)

En lo que es respecto a su clasificación mediante estructuras, funciones, tipos de eslabones y entre otros que emplea se clasifican en familias como: ⁸

Robots móviles: Como lo menciona su nombre debe poseer algún medio de desplazarse ya sean ruedas, patas u/o orugas. Es también implementado en manipuladores, es decir, que posee una plataforma de base que le permite trasladarse dentro del terreno en una sola dirección permitiendo así trasportar su carga o implementar un mejor rango de trabajo.

Robots cartesianos: la configuración de estos manipuladores esta suministrada en gran proporción de eslabones del tipo prismático, proporcionando un espacio de trabajo menor a que emplea su estructura, una característica muy empleada es

⁸ Robótica información de gestión. Salamanca. Diciembre 1999.

la posición del efector final corresponde a las coordenadas de traslación de su estructura, esto permite que tenga un mejor manejo de control.

Robots giratorios: sus articulaciones son giratorias. Se le nombran antropomórfico por las semejanzas que posee al brazo humano. Estos manipulador posee un amplio espacio de trabajo y son muy empleados en diversas funciones, esto ocasiona que su control sea de mayor complejidad.

Robots distribuidos: En términos de industria es de mayor eficiencia implementar varios manipuladores para ejecutar una función bastante compleja, que uno solo proporcionando una reducción de tiempo, costos, y servicios para la industria, a esto se le considera línea de producción.

Robots en paralelo: Contrario a los robots seriales, éstos están limitados ampliamente al movimiento giratorio de su base, pero poseen una precisión muy alta en su posicionamiento.

La estructura de los robots está constituida por elementos denominados eslabones que permiten el movimiento relativo entre ellos, suministrando una movilidad similar a la anatomía de un brazo humano, es decir, que poseen ciertas características antropomórficas, en la Figura 1 se puede observar una comparación entre un brazo humano y un manipulador.⁹

⁹ OPORTO Díaz, Samuel. Inteligencia artificial y robótica. Introducción a la robótica. <http://www.slideshare.net/mgarofalo85/robotica-2865399>.

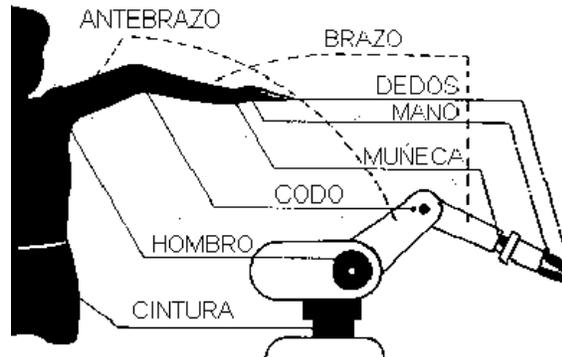


Figura 1. Identificación de las partes de un manipulador ¹⁰

Cada articulación provee al robot de al menos un ‘grado de libertad’, y posteriormente cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina ‘grado de libertad’. Las articulaciones que mayormente se emplean son:¹¹

¹⁰ LÓPEZ Abraham. Tornillo sinfín diseño de elementos mecánicos. Tomada de:
<http://es.scribd.com/doc/42584382/Tornillo-Sin-Fin>.

¹¹ OPORTO Díaz, Samuel. Inteligencia artificial y robótica. Introducción a la robótica.
<http://www.slideshare.net/mgarofalo85/robotica-2865399>.

- Esférica o Rótula (3 GDL)
- Planar (2 GDL)
- Tornillo (1 GDL)
- Prismática (1 GDL)
- Rotación (1 GDL)
- Cilíndrica (2 GDL)

Al momento de realizar la representación del manipulador, por los pares cinéticos o juntas que proveen el movimiento, se tiene en cuenta si son del tipo prismático o revolución como se puede apreciar en la Figura 2.

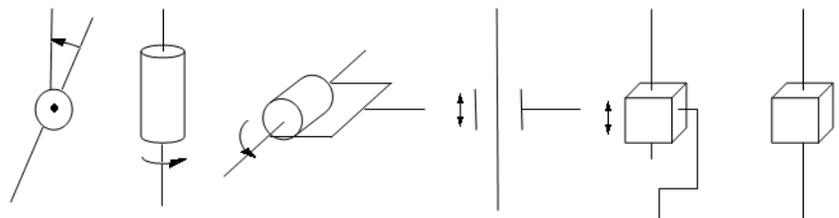


Figura 2. Eslabones de un manipulador ¹²

2.4. BASE DE DATOS

Esta sección ilustra los diferentes tipos de base de datos y sus diversas clasificaciones, ventajas y desventajas que presentan a la hora de implementarse.

2.4.1. Tipos

Las bases de datos se pueden clasificar de varias maneras:

¹² Dr. Oscar Avilés, Dr. Paola Niño. Introducción a la robótica con ilustraciones. Editorial Universidad Central. Calculo de Cinemática. Pág. 42

2.4.1.1. Según la variabilidad de los datos almacenados:

- Bases de datos estáticas:
Son bases de datos de sólo lectura, utilizadas para almacenar datos que posteriormente se pueden utilizar para estudiar el comportamiento de un conjunto de datos a través del tiempo.¹³

- Bases de datos dinámicas:
Éstas son bases de datos donde la información almacenada se modifica con el tiempo, permitiendo operaciones como actualización, borrado y adición de datos, además de las operaciones fundamentales de consulta

- Bases de Datos distribuidas:
Las bases de datos distribuidas consiste en dos o mas ficheros de datos, almacenados en diferentes partes de una red, los cuales pueden estar geográficamente separados, y conectadas por enlaces de comunicación.¹⁴

2.4.1.2. Según el contenido:

- Bases de datos de texto completo:
Almacenan las fuentes primarias, como por ejemplo, textos completos para consultas de diversos temas.

¹³ Bases de datos. Tipos de bases de datos. Tomado de <http://basededatos.over-blog.net/article-tipos-de-bases-de-datos-68319538.html>

¹⁴ Rosa Téllez, Maidel. Bases de datos distribuidas. Editorial Universitaria. 2007

- Bases de datos de información química o biológica
Son bases de datos que almacenan diferentes tipos de información proveniente de la química o medicas.

2.4.2. Modelo de base de datos

- Modelo jerárquico
En este modelo los datos se organizan en una forma similar a un árbol, en donde un nodo padre puede tener varios hijos. El nodo que no tiene padres es llamado raíz, y a los nodos terminales se los conoce como hojas. Las bases de datos jerárquicas son especialmente útiles en el caso de aplicaciones que manejan un gran volumen de información y datos relacionados, permitiendo crear estructuras estables y de gran rendimiento.¹⁵
- Modelo en red
Éste es un modelo ligeramente distinto del jerárquico; su diferencia fundamental es la modificación del concepto de nodo: se permite que un mismo nodo tenga varios padres.¹⁶

¹⁵ Tipos de ases de datos. Wiki pedía la enciclopedia libre. Tomado de:
http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos#Tipos_de_base_de_datos

¹⁶ Bases de datos. Tipos de bases de datos. Tomado de <http://basededatos.over-blog.net/article-tipos-de-bases-de-datos-68319538.html>

➤ **Modelo relacional**

En este modelo, los datos guardan relación entre ellos, y son agrupados en tablas, las cuales no se representan aisladas, sino que unas refieren a otras.¹⁷

Con base a estos criterios, se opta por una relación entre productos, códigos de barras, y sus respectivas posiciones en X e Y en el estante de la droguería, ya que realizaremos pruebas y simulaciones, en caso de que el proyecto se utilizara en droguerías muy grandes o relacionadas con hospitales y tratamientos, se deberá utilizar una buena base de datos dependiendo de la magnitud de las variables.

2.5. FUNDAMENTOS DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES

La presente sección explica de manera breve, los diferentes tipos de filtros que se implementan en la manipulación y tratamiento de imágenes, requeridas para el reconocimiento de objetos (para el presente proyecto: las cajas de medicamentos). Con base en sus características y a su costo computacional, se seleccionarán los filtros más adecuados para nuestra aplicación.

¹⁷ Mora Montes, Eduardo. Zorrilla Pantaleón, Marta E. Entresotos Cortés, Joaquín. Iniciación a las bases de datos con access 2002. Ediciones Días de santos. 2006

2.5.1. Segmentación

La segmentación es el proceso que divide una imagen en regiones u objetos cuyos píxeles poseen atributos similares. Es ampliamente utilizada para extraer información de una imagen, en especial, identificar objetos que se encuentren presentes en ella.

2.5.1.1. El método de segmentación por umbralización

Tiene en cuenta el valor de intensidad de los píxeles, para decidir si estos forman parte de un objeto de interés. Para segmentar una imagen es recomendable tener una imagen en escala de grises, ya que en esta solo se cuenta con un valor por pixel entre 0 y 255.¹⁸

El objetivo de este método, es encontrar los valores característicos de la imagen que establecen la separación del objeto de interés, con respecto a las regiones que no pertenecen al mismo. Por ejemplo, si los valores de intensidad del objeto y del resto de la imagen son claramente diferenciados, puede existir un valor umbral para realizar la mejor separación entre el objeto de interés y el fondo.¹⁹

¹⁸ MARTINES MEJIA, David Alberto. Interceptor de trayectorias basado en visión artificial. Bogota 2005

¹⁹ MUÑOZ RODRIGUEZ, Patricia. Aplicación del filtro de kalman al seguimiento de objetos en secuencias de imágenes. 2003

2.5.1.2. Los métodos de segmentación basados en regiones

Tienen en cuenta un conjunto de píxeles de la imagen, en los que se analizan características como la posición en el espacio de intensidades, relaciones topológicas (conectividad) y características de las fronteras entre dos conjuntos.²⁰

2.5.1.3. Detección de los límites de cada región (detección de bordes)

La segmentación de una imagen puede también localizando los lugares donde se produce un cambio significativo de los niveles de intensidad de los píxeles (detección de bordes). Esta operación puede efectuarse utilizando operadores de detección de bordes basados en la primera y/o segunda derivada. En el primer caso, como consecuencia de varios factores, como por ejemplo el ruido, iluminación no uniforme y otros factores, la detección de bordes no muestra claramente la frontera del objeto.[19]

2.5.2. Detección de la posición (búsqueda del centroide)

Existen varios métodos para determinar la posición de los objetos, de los cuales tomaremos dos principales, determinación de la posición basada en proyecciones y el otro basado en los extremos del objeto.

²⁰ MUÑOZ RODRIGUEZ, Patricia. Aplicación del filtro de kalman al seguimiento de objetos en secuencias de imágenes. 2003

- La determinación de la posición basada en proyecciones se genera gracias al análisis del histograma de la imagen para ambos ejes de coordenadas x e y . Definimos como el centro de masas a aquel punto que viene dado en su coordenada x por el punto medio de la proyección en el eje de abscisas, y en su coordenada y por el punto medio de la proyección en el eje de coordenadas.²¹
- La determinación de la posición basada en los extremos de un objeto se fundamenta en la obtención de los vértices, izquierdo (x_1, y_1), derecho (x_2, y_2), superior (x_3, y_3) e inferior (x_4, y_4) del objeto de la imagen.[19]
- La localización del objeto vendrá determinada por un punto único característico del mismo (x_{obj}, y_{obj}), que obtendremos como resultado de la intersección de las diagonales de caja contenedora.[19]

2.6. IDENTIFICACIÓN POR MEDIO DE CÓDIGO DE BARRAS

En esta sección se desarrollará una explicación breve del funcionamiento, tipos, ventajas y desventajas de los lectores de código de barra. Posteriormente a ello se

²¹ MUÑOZ RODRIGUEZ, Patricia. Aplicación del filtro de kalman al seguimiento de objetos en secuencias de imágenes. 2003

seleccionara el más adecuado según las características del sistema y su costo, con el fin de identificar los distintos tipos de medicamentos.

2.6.1. Características

Este tipo de lectores usan un laser que detecta el código de barras y emite el numero que muestra el código, La salida del escáner es una señal eléctrica correspondiente a las barras y espacios del código. Un decodificador reconoce dicha simbología, analiza el contenido del código y transmite dichos datos a la computadora en un formato de datos tradicional.

Características de un código de barras:

- Densidad: Es la anchura del elemento (barra o espacio) más angosto dentro del símbolo de código de barras. Está dado en mils (milésimas de pulgada). Un código de barras no se mide por su longitud física sino por su densidad.
- WNR (Wide to Narrow Ratio): Es la razón del grosor del elemento más angosto contra el más ancho. Usualmente es 1:3 o 1:2.

- Quiet zone: Es el área blanca al principio y al final de un símbolo de código de barras. Esta área es necesaria para una lectura conveniente del símbolo.

2.6.2. Tipos

Existen 4 tipos principales de lectores de códigos de barras:

- Lápiz óptico o wand:
Al deslizar el lápiz óptico o wand por la superficie del código de barras, este debe estar haciendo contacto a lo ancho del código, y se envía una señal digital de las barras y espacios a una frecuencia igual a la velocidad con la cual se desliza el lápiz.
- Laser de pistola:
Realiza un barrido mediante luz laser la cual genera una señal similar a la del lápiz óptico, pero a una mayor frecuencia. Esta señal es conocida como HHLC (Hand Held Laser Compatible)
- CCD (Charge Coupled Device):
Mediante un arreglo de fotodiodos toma una foto del símbolo de código de barras y las traduce a una señal, la cual es similar a la enviada por el laser (HHLC) o la del lápiz óptico
- Laser omnidireccional

Es un lector que envía un patrón de rayos laser, el cual permite leer un símbolo de código de barras sin importar la orientación del mismo.

2.6.3. Ventajas y desventajas

En la Tabla 1 se puede observar las diferencias entre los principales lectores de códigos de barras, como sus ventajas y desventajas.

	Ventajas	Desventajas
Lápiz óptico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lento. ➤ Requiere que el usuario tenga práctica. ➤ First read rate(FRR) bajo. ➤ Requiere decodificador de teclado.
Laser de pistola	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rápido ➤ Puede no requerir decodificador ➤ Lectura a distancia (standard:5 a 30 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relativamente caro ➤ Puede presentar problemas de durabilidad ➤ Puede tener problemas en la lectura con mucha luz

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alto FRR 	ambiental
CCD	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rápido ➤ Económico ➤ Muy durable ➤ Puede no necesitar decodificador de teclado ➤ Alto FRR 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Requiere estar muy cerca del código (0-1.5 cm) ➤ No puede leer símbolos que rebasen el ancho de su ventana
Laser omnidireccional	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rápido ➤ Puede no requerir decodificador ➤ Lectura a distancia (standard:5 a 30 cm) ➤ FRR de prácticamente 100% 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caro ➤ Requiere que los artículos operados no sean muy voluminosos, ya que el escáner se monta en posición fija

Tabla 5. Ventajas y Desventajas de lectores de códigos de barras

3. DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DEL MANIPULADOR

Mediante el siguiente diagrama de bloques se determinara el modelo dinámico del manipulador

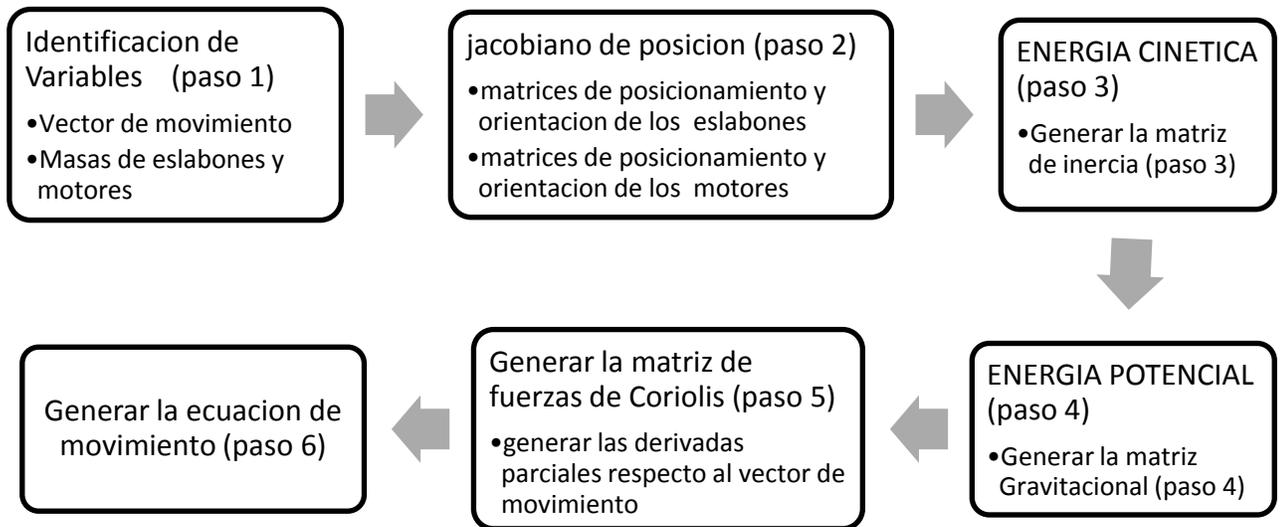


Figura 3. Diagrama de Bloques del modelo dinámico del manipulador mediante Lagrange

$$\tau = B(q) * \ddot{q} + C(q) * \dot{q} + G(q)$$

Ecuación 1. Representación compacta

Implementando los términos presentes en la ecuación 1 y los pasos mencionados anteriormente se procederá a analizar el modelo dinámico de la estructura, de esta manera se puede identificar los movimientos de cada uno de los eslabones, y permitiendo así reconocer el vector de movimiento que influye en el sistema como se muestra en la Figura 4.

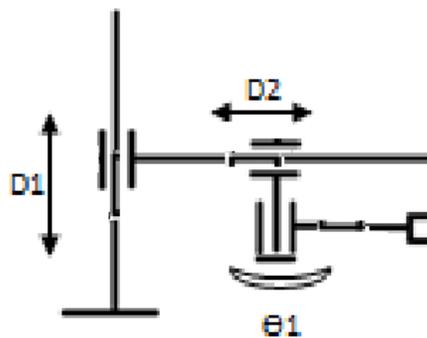


Figura 4. Visualización del vector de movimiento

PASO 1. Las variables principales que influyen en el sistema son los desplazamientos de los eslabones y el de rotación del brazo.

$$q = [d1 \ d2 \ \phi]$$

Posteriormente se adquirirán las masas de los eslabones (mL1, mL2, mL3), de los motores (mm1, mm2, mm3) y los momentos de inercia de los motores (im1, im2, im3), como valores iniciales para el proceso.

PASO 2. Prosiguiendo la secuencia se realizo las matrices de posicionamiento y orientación de los motores como de los eslabones.

$$Jp_j^{Li} = \begin{cases} Z_{j-1} & \text{Articulacion Prismatica} \\ Z_{j-1}X(P_{Li} - P_{j-1}) & \text{Articulacion de Revolucion} \end{cases}$$

Ecuación 2. Jacobiano de posición eslabón ²²

$$Joj^{mi} = \begin{cases} 0 & \text{Articulacion Prismatica} \\ Z_{j-1} & \text{Articulacion de Revolucion} \end{cases}$$

Ecuación 3. Jacobiano de orientación eslabón [9]

$$Jpj^{mi} = \begin{cases} Z_{j-1} & \text{Articulacion Prismatica} \\ Z_{j-1}X(P_{mi} - P_{j-1}) & \text{Articulacion de Revolucion} \end{cases}$$

Ecuación 4. Jacobiano de posición motor [9]

$$Joj^{mi} = \begin{cases} Joj^{Li} & J = 1, \dots, i - 1 \\ K_{ri}Z_{mi} & J = i \end{cases}$$

Ecuación 5. Jacobiano de orientación motor [9]

²² Modelo Dinámico de Manipuladores. Ricardo Castillo. Facultad de Ingeniera Mecatronica. Universidad Militar Nueva Granada. Abril-2011.

continuando el paso 2 e implementando las ecuaciones del 2 al 5 se obtuvo las siguientes matrices para los eslabones y los motores

$$\begin{aligned}
 J_{pl1} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{pl2} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{pl3} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & -d1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & d2 - lC\phi \end{bmatrix} \\
 J_{ol1} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{ol2} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{ol3} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 J_{pm1} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{pm2} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{pm3} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 J_{om1} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ Kr1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{om2} &= \begin{bmatrix} 0 & Kr2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & J_{om3} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Kr3 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenidas las ecuaciones se ejecuto el paso 3 donde se observa el primer termino de la ecuación 1 que se menciono al inicio del análisis.

$$B(q) = \sum_{i=1}^n (m_i J_p^{(li)T} J_p^{(li)} + J_o^{(li)T} R_i I_{Li}^i R_i^T J_o^{(li)} + m_{mi} J_p^{(mi)T} J_p^{(mi)} + J_o^{(mi)T} R_{mi} I_{mi}^{mi} R_{mi}^T J_o^{(mi)})$$

Ecuación 6. Matriz de inercia

PASO 3. Implementando la ecuación 6 se realiza la identificación de las componentes de la matriz de inercia del sistema, debido a que la realización de dicha ecuación requiere las matrices obtenidas en el paso anterior.

$$B(q) = \begin{bmatrix} b_{111} & b_{121} & b_{131} \\ b_{211} & b_{221} & b_{231} \\ b_{311} & b_{321} & b_{331} \end{bmatrix}$$

$$b_{111} = iim1 * Kr^2 + ml1 + ml2 + ml3 + mm2 + mm3$$

$$b_{211} = 0$$

$$b_{311} = (d2 - lcos(\emptyset)) * ml3$$

$$b_{121} = 0$$

$$b_{221} = il2 + il3 + im2 * Kr2^2 + im3 + ml2 + ml3 + mm3$$

$$b_{321} = il3 - d1 * ml3$$

$$b_{131} = (d2 - lcos(\emptyset)) * ml3$$

$$b_{231} = il3 - d1 * ml3$$

$$b_{331} = d1^2 * ml3 + d2^2 * ml3 - 2 * d2 * lcos(\emptyset) * ml3 + il3 + im3 * Kr3^2 + l * cos(\emptyset)^2 * ml3$$

Finalizando la matriz de inercia se procede al punto 4 en relación a la energía potencial mediante la ecuación 7 donde se obtendrá la matriz gravitacional, la cual hace referencia al tercer término de la ecuación 1.

$$u = - \sum_{i=1}^n (m_{li} g_o^T P_{li} + m_{mi} g_o^T P_{mi})$$

Ecuación 7. Ecuación Gravitacional

PASO 4. En la realización de este paso se identifico las coordenadas globales del sistema, y sobre que eje está afectando la gravedad.

$$G = [0 \quad 0 \quad -g]$$

Al determinar el eje sobre el cual actúa la gravedad e implementando la ecuación 7 se obtendrá el vector referente a la matriz gravitacional.

$$G(q) = \begin{bmatrix} g * [ml1 + ml2 + ml3 + mm2 + mm3] \\ 0 \\ g * [ml1(d2 - Lcos(\emptyset))] \end{bmatrix}$$

retomando la matriz de inercia resultante, para revisar cada uno de los términos en función de las variables que afectan el sistema, y al identificar que varios de ellos están en función de las variables, se debe implementar el cálculo de las derivadas parciales que permite determinar la fuerza de coriolis.

$$B(q) = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

$$b_{11} = im1 * Kr1^2 + ml1 + ml2 + ml3 + mm2 + mm3$$

$$b_{12} = b_{21} = 0$$

$$b_{13} = b_{31} = (d2 - lcos(\emptyset))ml3$$

$$b_{22} = il2 + il3 + im2 * Kr2^2 + im3 + ml2 + ml3 + mm3$$

$$b_{32} = b_{23} = il3 - d1 * ml3$$

$$b_{33} = d1^2 * ml2 + d2^2 * ml3 - 2 * d2 * lcos(\emptyset) * ml3 + il3 + im3 * Kr3^2 + l * cos(\emptyset)^2 * ml3$$

PASO 5. En base a la ecuación 8 se realiza las derivadas parciales para cada uno de los términos, y así conformar de la matriz de fuerza de coriolis que se visualiza como el segundo termino de la ecuación 1.

$$C_{111} = \frac{1}{2} \frac{\delta b_{11}}{\delta q_1} \quad C_{111} = \frac{1}{2} \frac{\delta b_{11}}{\delta q_2} \quad C_{111} = \frac{1}{2} \frac{\delta b_{11}}{\delta \theta}$$

Ecuación 8. Derivadas Parciales Vs. Variables del sistema

Finalizando las derivadas parciales se obtuvo la siguiente matriz.

$$C(q) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

$$c_{11} = 0$$

$$c_{21} = 0$$

$$c_{31} = ml_3 * (1 + l \cos(\theta))$$

$$c_{12} = 0$$

$$c_{22} = 0$$

$$c_{32} = -ml_3$$

$$c_{13} = ml_3 * (1 + l \cos(\theta))$$

$$c_{23} = -ml_3$$

$$c_{33} = 2[d_1 * ml_2 + ml_3(d_2 - l \cos(\theta)) - ml_3 * l \sin(\theta) * \cos(\theta) - d_2 * ml_3 * l \cos(\theta)] \dot{\theta}$$

Finalmente al completar el paso 5, se obtuvo la totalidad de los términos que componen la ecuación 1 para su implementación.

4. DISEÑO DEL MANIPULADOR

4.1. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROBLEMA

En la presente sección se requiere identificar los elementos que intervienen de forma directa o indirecta a lo largo del proceso de inventario de medicamentos, analizando las restricciones como el área de trabajo, cantidad de productos.

4.1.1. Identificación de las variables del problema

En primera instancia es necesaria la identificación de las restricciones y parámetros del sistema, que preceden al análisis detallado del diseño. Una serie de parámetros notorios son:

- Tipos de estantes que se emplean y distribución de los medicamentos en cada sección.
- Tiempo empleado en la realización de las funciones de abastecimiento, tales como la distribución de medicamentos.
- Área de trabajo disponible según el manipulador a implementar.
- Fuerzas y velocidades presentes según el tipo de manipulador.

Posteriormente se evaluarán las restricciones de diseño en términos de los recursos a implementar, como se muestra en la Figura 5. Lo anterior está directamente asociado al desarrollo de un modelo matemático adecuado, así como la estrecha relación entre los diferentes periféricos de entrada necesarios para reconocer/manipular los insumos (medicamentos).

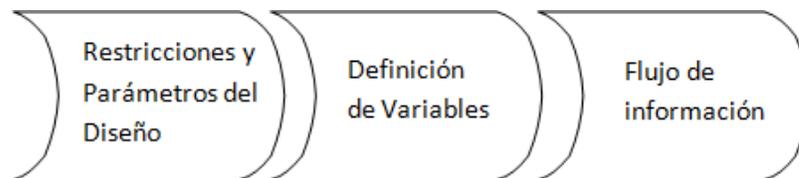


Figura 5. Secuencia de análisis del sistema

- Objetivo del Análisis
 - Identificación del tiempo, y variables que intervienen en el proceso manual, de posicionar y organizar los medicamentos en los estantes.
 - Resaltar los requerimientos, restricciones y parámetros del sistema para su previo análisis y desarrollo.
 - Fundamentar unas bases para un diseño adecuado y correspondiente a los parámetros determinados.

- Requerimientos del Sistema

- La organización de los medicamentos, en estantes tipo estándar (droguerías de gama baja), que no requieren el ingreso o la implementación de cajones para almacenamiento.
- Disminuir el tiempo promedio del proceso de organización de los medicamentos.
- Restricciones
 - Limitar el diseño, al tamaño del estante promedio o estándar de las droguerías de gama baja.
 - Limitar el comportamiento del manipulador robótico, con respecto al tamaño del lugar en el cual se va a desplazar o en el cual va a manipular los medicamentos, teniendo en cuenta a los encargados o farmacéuticos q circulan.
 - Diseño teórico del manipulador robótico en el espacio de trabajo en sus desplazamientos y velocidades.
 - Limitar los productos manipulados a solo cajas, para su fácil tratamiento, y el número de productos a manipular a 25, para poder realizar las respectivas simulaciones. Y a su vez 1 solo articulo del mismo por producto.

Teniendo ya definido parcialmente las aéreas a estudiar para determinar los factores influyentes a las restricciones y objetivos previamente definidos, se obtuvieron datos para centralizar las problemáticas del sistema como se muestra en la Tabla 2, una de las primeras actividades a realizar de manera adecuada y precisa es la toma de datos que emplean los trabajadores en el momento de hacer abastecimiento de la droguería, posteriormente también se ha de evaluar el tiempo de duración que emplea para recibir un pedido, buscarlo y finalmente entregarlo al cliente, puesto que esto permitirá tener varios puntos de estudio para la selección adecuada del manipulador, como también el área de trabajo que el manipulador implementa para realizar sus operaciones.

Uno de los requerimientos mínimos y fundamentales que emplearon en la adquisición, fue durante los lapsos que se generaba con mayor frecuencia la presencia de un cliente, permitiendo así evaluar la eficiencia y el tiempo del trabajador.

Este estudio se realizó en la semana del 24 al 28 de octubre del 2011, entre las 2:00pm hasta las 4:00pm debido que en ese instante de tiempo hay clientela circulando en el local.

Tiempo atender: es el tiempo que emplea el farmacéutico en prestarle atención al cliente e identificar qué tipo de solicitud está pidiendo, sea medicamento o una indicación de dosis o suministros por formula.

Tiempo buscar: es el lapso que utiliza el farmacéutico para ubicar el medicamento ya sea que se encuentra en los estantes superiores o almacenado en alguno de los cajones del estante

Tiempo entrega: es el tiempo que gasta para facturar el medicamento, y entregarlo al cliente.

N. Muestra	tiempo atender	tiempo buscar	tiempo entrega	N. Muestra	tiempo atender	tiempo buscar	tiempo entrega
1	2,28	7,17	1,05	31	3,05	1,18	2,00
2	2,89	3,45	1,91	32	3,27	1,63	2,44
3	2,25	1,94	4,79	33	1,40	2,79	2,12
4	2,51	3,08	4,61	34	3,29	1,30	1,78
5	3,46	2,07	5,80	35	2,61	2,92	2,34
6	1,67	1,24	1,56	36	1,33	1,58	1,56
7	3,17	2,83	5,23	37	1,76	2,24	5,23
8	1,41	3,84	1,75	38	2,41	2,84	1,75
9	1,59	2,77	3,36	39	3,40	1,38	3,36
10	2,38	3,99	2,35	40	2,38	3,27	2,35
11	2,96	1,72	4,13	41	2,96	1,72	4,13
12	1,34	4,94	5,89	42	1,34	1,94	5,89
13	3,22	5,54	3,52	43	1,17	4,17	3,52
14	2,77	3,57	2,51	44	1,21	1,68	2,51
15	1,75	3,55	4,79	45	2,76	2,54	4,79
16	2,30	3,98	3,24	46	1,86	3,78	3,24
17	1,80	1,91	3,77	47	1,18	2,53	3,77
18	1,40	2,08	2,62	48	2,73	0,75	2,62
19	2,19	3,51	5,80	49	1,38	2,32	5,80
20	1,20	2,49	2,63	50	2,29	1,40	2,63
21	2,13	2,26	3,23	51	2,6	1,79	3,23
22	1,50	3,15	1,82	52	1,63	2,71	1,82
23	1,10	1,61	2,75	53	2,45	0,26	2,75
24	1,30	1,34	2,27	54	1,12	1,52	2,27
25	3,51	3,92	4,38	55	1,30	6,13	4,38
26	1,20	1,65	2,63	56	2,16	0,69	2,73

27	3,17	5,39	2,63	57	3,00	1,77	1,34
28	1,75	3,78	2,73	58	2,57	2,96	3,20
29	1,40	4,97	2,73	59	2,91	3,46	2,73
30	1,20	4,50	2,73	60	1,71	1,89	2,11

Tabla 6. Toma de datos durante un periodo de 7 días Unidades (s.)

Seguido a la realización y estudio de los datos de tiempo se generó una base de datos con algunos de los medicamentos más solicitados y que tienen mayor movilidad en el ámbito de la salud como se muestra en la Tabla 3, principalmente como guía y evaluación del funcionamiento del lector.

No. Producto	Código barra	Nombre	Pos. X(m)	Pos. Y(m)
1	7702057100926	crema No. 4	0.225	0.402
2	7703381002405	isodine espuma	0.712	0.402
3	7703381002559	isodine solución	0.712	0.747
4	7706569000415	Loratadina	2.130	0.473
5	7703381000777	bisolvon	2.546	0.473
6	7703283163013	Terramicina	0.225	0.747
7	7702132003760	Robitussin	2.130	0.824
8	7707069729424	Violetina	2.546	0.824
9	7707069713225	bicarbonato de sodio	0.225	1.086
10	7702057073985	Loperamida	0.712	1.086
11	7707145300974	sulfato de magnesio	2.130	1.256
12	7702132004330	Advil	2.546	1.256
13	7707189520482	calcitriol	0.225	1.387

14	7703763120123	verapamilo clorhidrato	0.712	1.387
15	7702065111617	atritol gel	2.130	1.656
16	7896255700993	isoptin 80mg	2.546	1.656
17	7702057168032	Noraver	0.225	1.721
18	7591044218122	plasil 10mg	0.712	1.721
19	7702418000254	encefabol	0.225	2.044
20	7702123828631	cardio aspirina	0.712	2.044
21	7707260162259	bicarbonato de soda	2.130	2.044
22	7704588001291	betopropol 50mg	2.546	2.044
23	7702057840549	sal de frutas lua	0.712	2.280
24	7706569001443	Naproxeno 250mg	2.130	2.280
25	7702057165338	noraver gripa	1.489	2.280

Tabla 7. Medicamentos con su respectivo código de barras y posiciones en el estante

Siguiendo las actividades preliminares a los objetivos se indago en varios puntos de estudio en diversos manipuladores, eventualmente el enfoque en esta selección está encaminada a los principales requerimientos del sistema como:

- Tipos de estante
- Espacio de trabajo
- Velocidad y movilidad

Se indaga adecuadamente las ventajas, y desventajas que causa cada uno de estos requerimientos, por lo que cada uno está relacionado directamente con el otro.

⇒ Estanterías y sus tipos

Entre los modelos y diseños conocidos que se han elaborado principalmente para abastecer todo tipo de productos o bienes algunas de ellas son:

- Estante de profundidad simple
- Estante Móvil

Considerando el tipo de estantería que implementan en la droguería y comparándola con los anteriormente mencionados, se mencionara el de mayor utilidad a la aplicación del sistema y que beneficie al manipulador seleccionado, posteriormente se implementara la estantería que actualmente poseen en el local.

- Estiba de Profundidad Simple

Son de estructura sencilla donde facilita el acceso rápido a la mercancía, Figura 6 , estos estantes tiene la viabilidad de graduar la altura para ajustarla al tamaño de la mercancía, posteriormente también emplea casi un 50 % del espacio que está destinado a los pasillos.



Figura 6. Estante Sencillo. ²³

- Estiba Móvil

²³ KM soluciones integradas. Monterrey, N. L. Mexico. Tomado de: <http://kmsoluciones.com/estanteria-y-muebles>

Esta clase de estantes son extensos por lo que requieren generar una plataforma de traslación ya sea manual o automática, Figura 7, cada uno de estos paneles móviles posee varios niveles de abastecimiento simple o doble según el diseño solicitado, pero de igual manera es limitado al espacio suministrado para el montaje de este modelo.



Figura 7. Estante de base móvil. ²⁴

Con lo mencionado anteriormente se obtuvo como selección, los estantes de profundidad simple por sus características de adaptabilidad al tamaño de la mercancía, posteriormente es viable para el espacio que está asignado a la droguería, porque permite mayor desplazamiento al personal como al tipo de manipulador a implementar y su costo es menor.

⇒ Espacios de Trabajo

²⁴ Del Campo Daniel. SSI SCHAEFER LTDA. Avenida Arnaldo Biagioli, Brasil. Sistemas de estanterías móviles. tomado de: <http://www.ssi-schaefer.co/almacenaje/estanterias-de-carga-manual/estanterias-moviles.html>

Puntualizando el termino de espacio de trabajo es, el área que emplea para realizar una función, esta aclaración se enfoca principalmente en los manipuladores robóticos por lo que es una importante variable que puede causar accidentes como también incomodidad no solo para el personal sino también para ejecutar sus funciones, esto se puede visualizar según el tipo de manipulador que se va a implementar como el área o rango de movilidad que posee.²⁵

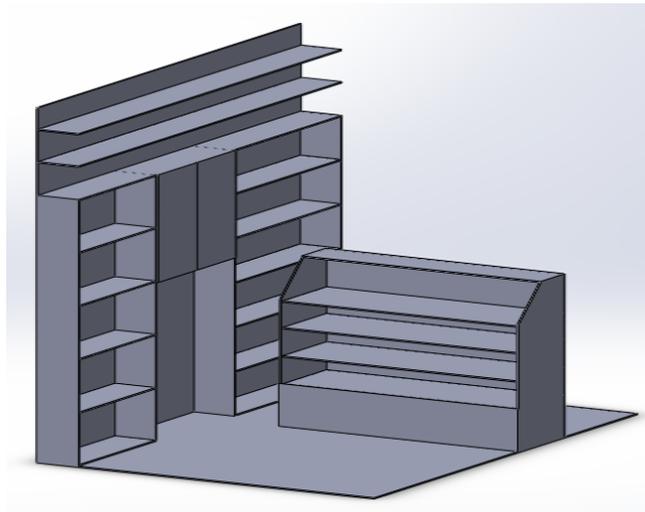


Figura 8. CAD del espacio de la droguería

Incorporado a ello se debe evaluar el área designada para la droguería en estudio observamos que posee un volumen de 3X6X4 m de lo cual está distribuido entre vitrinas, estantes y corredor para los empleados, como se muestra en la Figura 8, es decir, el espacio de trabajo no está evaluado en la comodidad del personal ni en el almacenamiento de medicamentos , esto implica varias limitación dentro de la selección del manipulador adecuado, posteriormente al observar esta

²⁵ Sergio. Definiciones y términos de robótica. Tomada de:
<http://proton.ucting.udg.mx/robotica/r166/r66/r66.htm>

distribución claramente se puede comprender los retrasos generados en la atención dentro de horas pico, como también la incomodidad del personal para desplazarse libremente. Eventualmente se pudo observar que la distribución de turnos entre el personal varía frecuentemente por la limitación de espacio.

Corroborando los datos obtenidos con el estudio topográfico se seleccionaron tres configuraciones de manipuladores que se han implementado en el campo de las droguerías para elaborar esta función, afín de optimizar el sistema de abastecimiento de los medicamentos podemos optar por la modificación de los estantes a niveles pertinentes que permitan mejorar y ampliar la capacidad de abastecimiento. De esta forma se puede ajustar las posiciones de cada medicamento para el ingreso de coordenadas al manipulador mediante los permisos pertinentes de la empresa, en caso contrario se realizaría el ingreso de datos correspondientes a las locaciones del estante.

MANIPULADOR ESFERICO

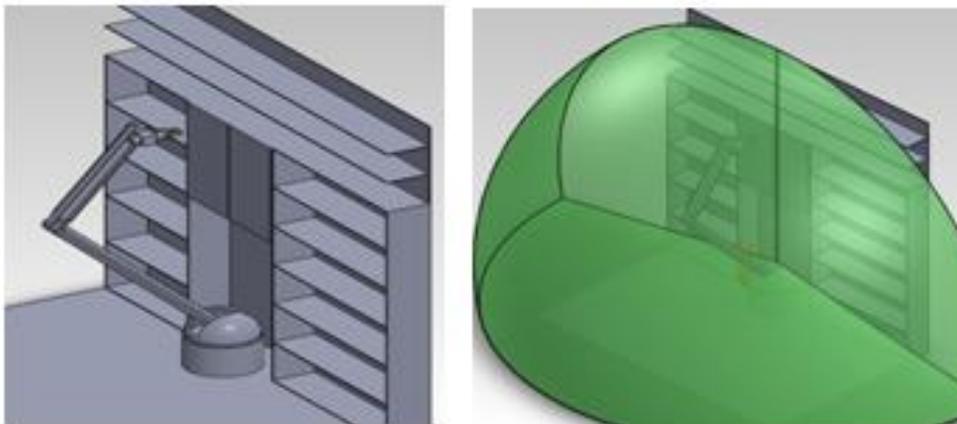


Figura 9. Espacio de trabajo de un manipulador esférico

Descripción

Este tipo de manipulador tiene la característica que posee un eslabón rotacional y dos que lo preceden del tipo prismático, es decir, que posee una estructura (RPP), posteriormente su posicionamiento se realiza en coordenadas cilíndricas permitiendo ajustar el gripper en el área o posición de interés dentro del espacio de trabajo que posee como se puede visualizar en la Figura 9.

Ventajas

- tiene la capacidad de adquirir objetivos que se encuentran en su área de alcance

Desventajas

- Tiene un rango limitado que se encuentra próximo a su propia base que está determinada por la longitud de sus articulaciones como también del ángulo efectivo causado por la alineación de los dos eslabones.
- Tiene una mayor complejidad para determinar la posición y orientación del efector final
- Es propenso a singularidades cinemáticas, es decir, infinitas soluciones posibles para determinadas posiciones de un efector final

MANIPULADOR ESFERICO DE BASE MOVIL

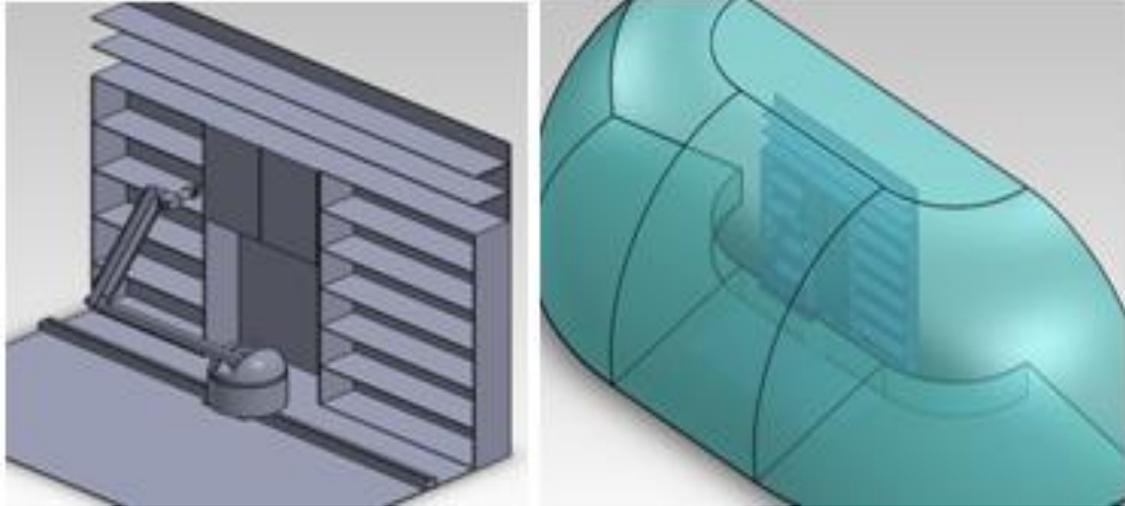


Figura 10. Espacio de trabajo de un manipulador esférico con base móvil

Descripción

Este manipulador con respecto al mencionado anteriormente tiene la característica de poseer una base móvil a lo largo de un eje determinado permitiendo una ampliación en el espacio de trabajo, Figura 10, aunque posee las mismas limitaciones del manipulador esférico de base fija.

Ventajas

- Aumenta su capacidad de alcance al adquirir objetos que se encuentre en su área de alcance

- Minimiza el espacio generado por la alineación de los eslabones al trasladar su eje coordenado

Desventajas

- No alcanza lo que esté por encima de el
- Se incrementa la complejidad para determina la posición y orientación
- No minimiza la tendencia a ser propenso a singularidades cinemáticas.

MANIPULADOR CARTESIANO

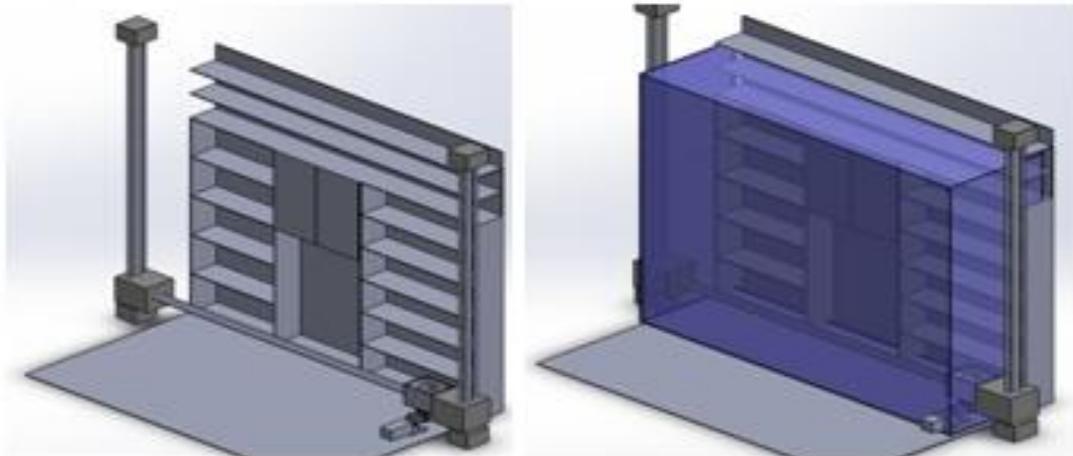


Figura 11. Espacio de trabajo de un manipulador Cartesiano

Descripción

Este tipo de manipulador tiene una estructura RRR, es decir, que sus eslabones son del tipo prismático, posteriormente la construcción de este manipulador esta principalmente enfocado en los motores, el sistema de traslación, el tipo de carga que se va a efectuar y con sensores o actuadores que permitan al sistema tener una rigidez y precisión, Figura 11.²⁶

Ventajas

- No requiere una amplia complejidad para determinar posición y orientación.
- No es propenso a singularidades cinemáticas
- El modelo de este manipulador es bastante simple de realizar.
- Su estructura rígida permite elevar cargas de peso considerable a superior a las especificaciones que posea.

Desventajas

- La implementación de este tipo de estructuras requiere tener un gran espacio para su instalación.
- El volumen que utiliza el manipulador es mucho más amplio que el área de trabajo y está dispuesto al daño por polvo.

²⁶ Dr. Oscar Avilés, Dr. Paola Niño. Introducción a la robótica con ilustraciones. Editorial Universidad Central. Calculo de Cinemática. Pág. 42

Al identificar las áreas de trabajo que requieren los manipuladores seleccionados se optó por seleccionar el sistema cartesiano por sus características de rigidez, diseño ergonómico y volumen ajustado a su función a desarrollar, posteriormente un valor agregado a su selección fue la sencillez en el análisis cinemático del mecanismo. Al considerar esta estructura, se realizó una investigación de los tipos de motores, y piezas a utilizar según las variables del sistema obtenidas en la medición de tiempo y las características de los medicamentos.

Motores

Actualmente muchas de las empresas como YAMAHA, PROMOT, IDRA, CROUZET entre otras se dedican a la creación de piezas o secciones de un manipulador robótico, ya sea enfocándose en la realización de motores, actuadores, sensores entre otros dispositivos aplicados en la robótica.

Cada una de estas empresas posee un catálogo de motores y piezas según los requerimientos que el cliente solicite. Y en función de sus productos nos centramos en la búsqueda de motores que nos beneficien dentro del diseño del dispositivo.²⁷

Finalizando la clasificación y detalles de las piezas principales del manipulador robótico evaluamos las periféricas de ingreso, considerando los parámetros ya definidos como el centro en eje X del medicamento, y su código de barras. De esta manera la adecuada selección de un lector de código de barras entre los muy diversos diseños y funcionales, se seleccionó el CCD 310 por sus características, Tabla 4, como también su economía para las pruebas de interfaz que se requerían, como la transmisión por puerto USB y su auto configuración según la

²⁷ Servicios tecnológicos para la gestión de medicamentos en farmacias. Barcelona España. PYSSA, Pol. Industria Zona Franca Sector Central. www.pyssa.com, www.3ar.es

necesidad del usuario ya sea manual o automática para lectura de códigos de barras.²⁸

OPERATIONAL	
Light Source	630 nm visible LED
Optical System	2,088 pixels CCD
Depth of Field	0 – 20 mm (UPC/EAN 100%, PCS=90%)
Width of Field	80 mm
Scan Rate	100 scans per second
Minimum Bar Width	0.125 mm (5 mil) (0.1 mm actually)(Code 39, PCS=90%, contact)
Print Contrast	30% @ UPC/EAN 100%
Indicators (LED)	Blue LED
Beeper Operation	Programmable tone & beep time
System Interfaces	Keyboard, RS-232C, HID USB, wand
PHYSICAL	
Dimensions	(L)169.7 × (W)88.8 × (H)61.5 mm (device only)
Weight	100 g (cable excluded)
Cable	Standard 2.0M straight
POWER	5 VDC ±10%
	70 mA typical

Tabla 8. Características de Lector de Código de Barras CCD 310[25]

²⁸ Lector de Código de barras especificaciones y funciones tomado de:
http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-401274286-lector-codigo-de-barras-al-mejor-precio-del-mercado-_JM

4.1.2. Análisis Cinemático del Manipulador

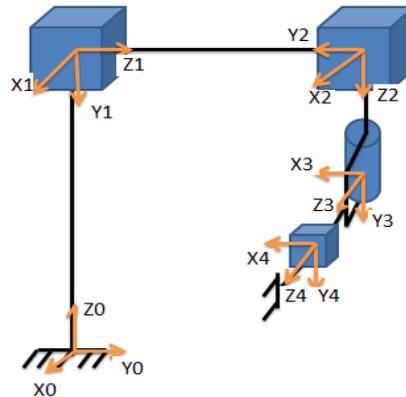


Figura 12. Método de Denavit - Hartenberg

Al realizar el análisis cinemático del manipulador como se observa en la Figura 12, e implementando los pasos del método de Denavit – Hartenberg, Figura 13.²⁹

```
function dh=denavit(teta, d, a, alfa)
dh=[cos(teta)  -cos(alfa)*sin(teta)  sin(alfa)*sin(teta)  a*cos(teta);
    sin(teta)  cos(alfa)*cos(teta)  -sin(alfa)*cos(teta)  a*sin(teta);
      0        sin(alfa)              cos(alfa)          d;
      0        0                    0                    1];
```

Figura 13. Matriz Denavit

²⁹ MARTÍNEZ JUÁREZ Raúl. Ingeniería Mecatrónica. Universidad Nacional. Lima-Perú Modelado y control dinámico de un manipulador robótico de 3 GDL ("grados de libertad"). junio 2009.

$$\begin{bmatrix} \cdot & \theta & d & a & \vartheta \\ 1 & 0 & d1 & 0 & -\pi/2 \\ 2 & 0 & d2 & 0 & -\pi/2 \\ 3 & \theta & l1 & 0 & \pi/2 \\ 4 & 0 & l2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 14. Parámetros Cinemáticos

Posteriormente se obtuvieron las matrices mediante la Figura 13 para cada uno de los términos al realizar las matrices se relacionaron todas para obtener la general de sistema.

$$A_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta & 0 \\ S\theta & 0 & -C\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Al obtener cada una de las matrices respecto al eslabón anterior se compone la matriz general del sistema, mediante la multiplicación desde la base hasta el último eslabón determinado.

$$A_{04} = A_{01} * A_{12} * A_{23} * A_{34}$$

$$A_{04} = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta & l2S\theta \\ -S\theta & 0 & C\theta & d2 + l2C\theta \\ 0 & -1 & 0 & d1 - l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Finalizando la cinemática directa se inicio el desarrollo de la cinemática inversa para identificar a partir del efector final como debe estar posicionado y orientado el manipulador.

$$Pwx = l2\text{sen}(\emptyset)$$

$$Pwy = d2 + l2\text{cos}(\emptyset)$$

$$Pwz = d1 - l1$$

Implementando los primeros 3 valores de la última matriz obtenida en la cinemática directa la podemos relacionar a la posición que posee el efector final, donde se obtiene 3 ecuaciones en relación al despeje de las variables del sistema.

$$d1 = Pwz + l1$$

$$l2 = \frac{Pwx}{\text{sen}(\emptyset)}$$

$$\text{sen}(\emptyset) = \frac{Pwx}{l2}$$

$$Pwy - d2 = \frac{Pwx}{\text{sen}(\emptyset)} * \text{cos}(\emptyset)$$

$$Pwy - d2 = Pwx * \text{cot}(\emptyset)$$

$$d2 = Pwy - Pwx * \text{cot}(\emptyset)$$

4.1.3. Modelo o sistema conceptual

En la Figura 15, se puede encontrar un modelo resumido del proyecto.

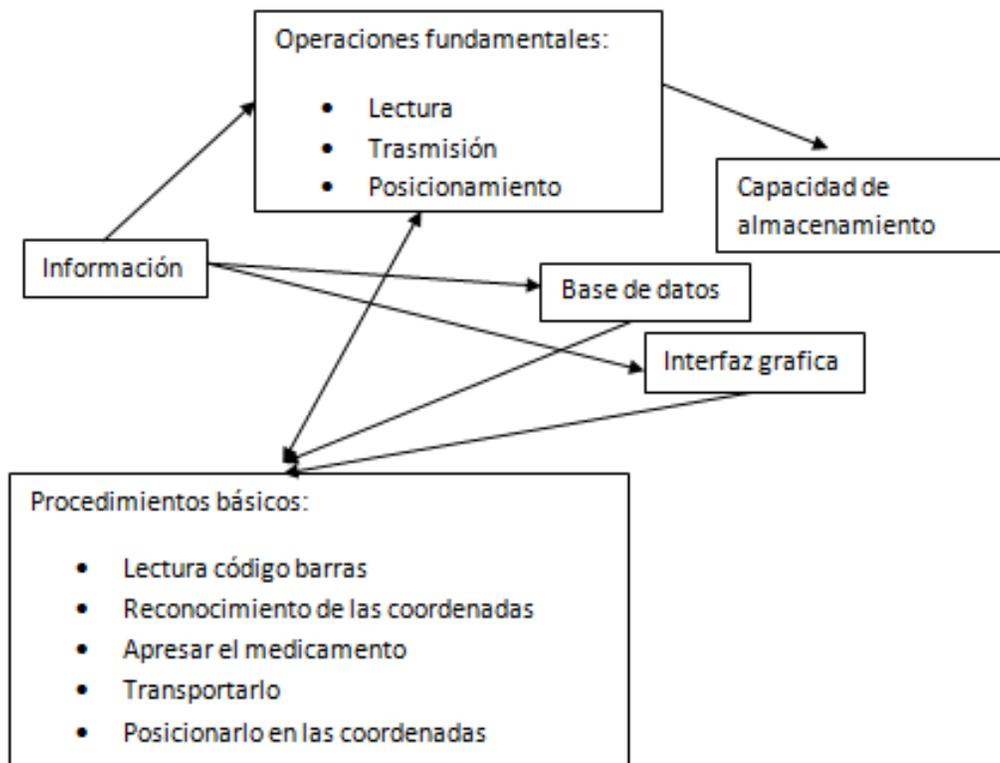


Figura 15. Modelo o sistema conceptual

4.1.4. Flujo de Información

Con base a las restricciones, parámetros obtenidos se condensa a un breve planteamiento de análisis:

- Como afectan estas restricciones al sistema?
- Porque escoger un diseño eficiente y optimo?
- Que consideraciones adicionales deben tenerse en cuenta al mejorar el diseño?
- Cuál es el modelo matemático adecuado al sistema?

4.1.5. Análisis Bloques de simulación

Dentro de las consideraciones que se tuvieron para la elaboración de la interfaz se implemento un llamado de estructuras durante la ejecución permitiendo así una actualización de los datos al momento de graficar.

Funciones para implementar axis a las variables a visualizar.

- Axes(handles.axes)
- Vect=simset('SrcWorkspace','current');
- Sim('finalfinal',[],Vect);
- Plot(a.signals.values);

- Find_system('name','finalfinal');
- Open_system('finalfinal');
- X=get(handles.edit1,'string');
- Get_param('finalfinal','dialogparameters')
- Set_param('finalfinal','after',X);
- Gcs = "Inicia simulacion"

Dentro de estas sentencias estamos indicando sobre que axes se va a trabajar, creamos un vector orientado a un workspace, seguido a ello llamamos al archivo donde esta el manipulador incluimos un vector nulo de dimensión el vector ya creado y finalmente llamamos por el nombre de la variable del workspace con apuntador a todos los valore que posea la señal.

Tomando de referencia la figura 88 podemos identificar como está compuesta la interfaz de usuario, en la imagen se puede apreciar varios axes lo cual implementando el código anterior estaremos implementando cada uno, también se implementan textos flotantes y estáticos; Los estáticos se implementan para dejar algún mensaje visible en todo momento, a diferencia del flotante este se utiliza para visualizar datos o ingresar datos según como se configure estas casillas.

De igual manera se utiliza un pulsador que tiene como función principal iniciar la simulación el sistema e igualmente coordinar la activación y el llamado de todas las herramientas y secciones que requiera implementar según su código. De manera que implementando estas últimas funciones mencionadas permitirán realizar todo tipo de actividades y llamados para realizar alguna aplicación.

4.2. DISEÑO

4.2.1. Esquema Mecánico

Dentro del proceso de estudio a las eventualidades del sistema, se opto por seleccionar el manipulador cartesiano por las ventajas que suministra al momento de su ejecución o funcionamiento debido a que posee un espacio de trabajo reducido a las condiciones mínimas o aéreas de trabajo. Posteriormente en esta sección se incluirá la selección de los motores tanto las dimensiones como su referencia industrial e incluyendo el catalogo de las mismas empresas como anexos adjuntos

4.2.1.1. Cálculos fuerzas y torques

El proceso más adecuado para la determinar las dimensiones de los eslabones está vinculado al cálculo de las fuerzas, y torques ejercidas en los motores para trasladar una masa de una posición a otra, semejante a este proceso aritmético, nos permitirá identificar los pesos, dimensiones de los motores, relaciones corona-sinfín entre otros puntos a estudiar, los pasos a seguir se pueden observar en la Figura 16.³⁰

Dentro del análisis obtendremos factores de RPM como también valores de torque lo que permitirá indagar en el ANEXO 1 los motores a seleccionar.³¹

³⁰ ROJAS V. Jorge, MAHLA A. Ingeborg, MUÑOZ C. Gerardo, CASTRO. A. Daniel. Diseño de un robot cartesiano para aplicaciones industriales. Diciembre 2003

³¹ Catalogo de Motores. Empresa Crouzet tomado de www.crouzet.com. Valencia-Francia

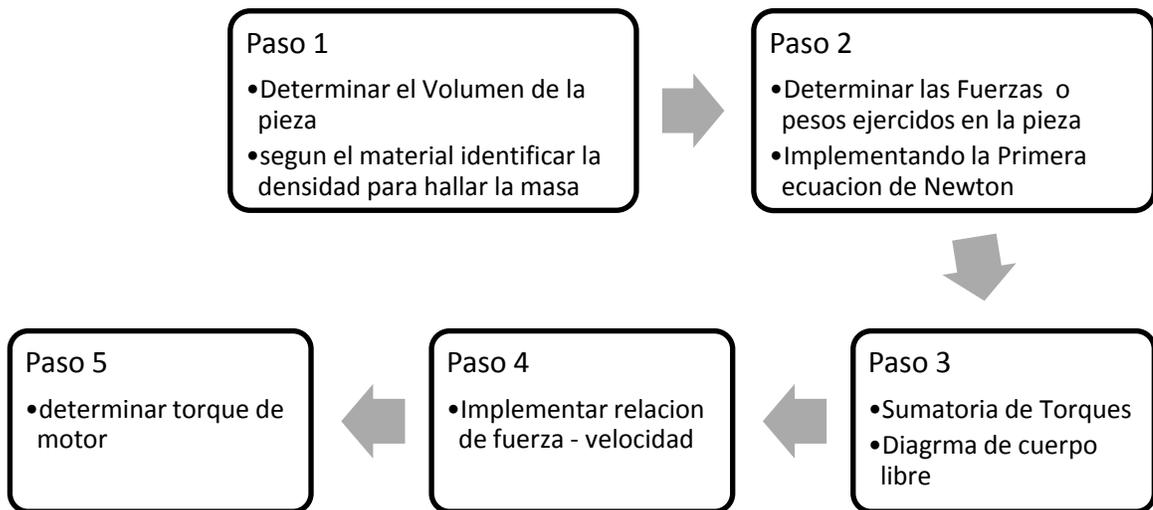


Figura 16. Diagrama de bloques para determinar las dimensiones de los eslabones

- Calculo de dimensiones gripper

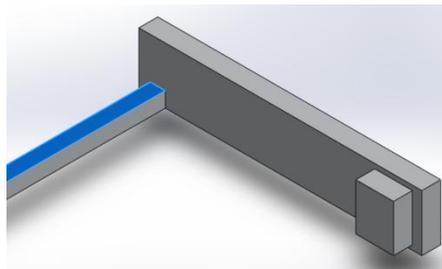


Figura 17. Sección móvil del Gripper

En primera instancia se evaluó las fuerzas ejercidas en la sección móvil de la pinza, Figura 17, para determinar las fuerzas de reacción y la fuerza ejercida en la correa, posteriormente se ingreso el peso del medicamento mas empleado en el periodo de estudio del sistema como se muestra en la Figura 18.

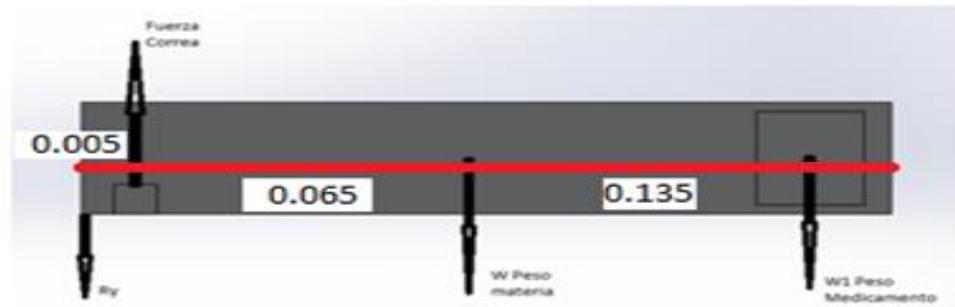


Figura 18. Análisis de momento torsión en la sección móvil del Gripper

PASO 1. Con los pasos anteriormente mencionados podemos ir desarrollando el sistema de manera adecuada para obtener los valores del sistema.

$$V_{mat} = 150mm * 20mm * 10mm$$

$$V_{mat} = 0.00003 m^3$$

$$\delta = 2660 \text{ Kg}/m^3$$

$$M_{mat} = \delta * V$$

$$M_{mat} = 0.0798 \text{ Kg}$$

$$M_{med} = 0.05 \text{ Kg}$$

$$W_{med} = 0.4905 \text{ N}$$

PASO 2. Una vez obtenido los pesos ejercidas en la pieza procedemos a implementar la primer ley Newton, permitiendo así determinar varias de las fuerzas que están actuando en el sistema y así prolongar le calculo para cada uno de los motores.

$$\sum f_y = 0$$

$$-Ry + Fcor - Wmed - Wmat = 0 \quad (1)$$

PASO 3. Al observar que hay 2 incógnitas en la ecuación se debe implementar nuevamente la Ecuación de Newton orientada a momentos de torsión.

$$\sum \tau Ry = 0$$

$$-0.005m * Fcor + 0.065m * Wmat + 0.135m * Wmed = 0 \quad (2)$$

$$Fcor = \frac{-(0.065m * Wmat + 0.135m * Wmed)}{-0.005m} = 23.64N$$

$$(2) \quad Ry1 = Wmed + Wmat - Fcor = 22.36N$$

Una vez obtenido los valores de las fuerzas podemos trasladar estos valores al siguiente eslabón para continuar el cálculo en las piezas y así llegar a los valores primordiales como son los torques y velocidades de los motores, como se muestra en la Figura 19.

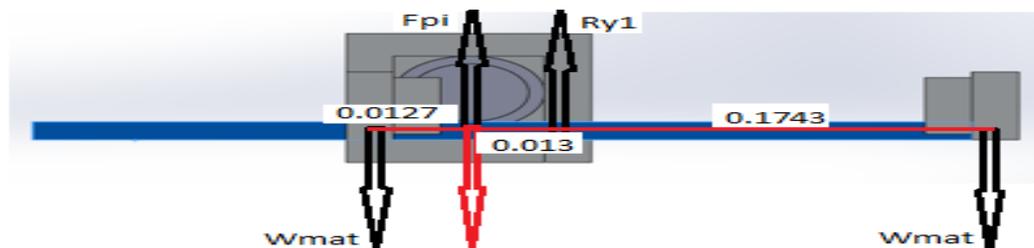


Figura 19. Análisis del momento torsión del Gripper

Nuevamente se realizaron los primeros pasos del diagrama de bloques para determinar las fuerzas ejercidas en la pieza a estudio

$$\sum f_y = 0$$

$$W_{to} = W_{mat} + W_{med} = 1.28N$$

$$-2 * W_{to} + R_{y1} + F_{pi} = 0 \quad (3)$$

$$\sum \tau F_{pi} = 0$$

$$(0.1743m - 0.0127m) * W_{to} - 0.013m * R_{y1} = 0 \quad (4)$$

$$R_{y1} = \frac{(0.1743m - 0.0127m) * W_{to}}{0.013m} = 15.91N$$

$$(3) \quad F_{pi} = 2 * W_{to} - R_{y1} = -13.35N$$

Al determinar que la fuerza ejercida en el piñón da negativa, indicar que la fuerza realmente esta ejercía en el sentido opuesto, seguidamente a ello se comenzó a calcular la relación Piñón-cremallera para determinar varios de los factores que permitirán hacer la elección del motor, también se indago el factor de fricción que posee el material a emplear y se asigno un diámetro de piñón igual a 2 pulgadas.

$$\mu = 0.61$$

$$d = 25,4 \text{ mm}$$

$$V_{cor} = (10mm \times 10mm \times 200mm) = 0.000023 m^3$$

$$M_{cor} = 2660 \frac{Kg}{m^3} * 0.000023m^3$$

$$W_{cor} = 0.261 N$$

$$W_{to1} = W_{cor} + W_{to} = 0.261N + 1.28N = 1.8N$$

$$M_{to1} = W_{to1} / 9.81 \frac{m}{s^2} = 0.1836 Kg$$

Una vez determinado los pesos se realiza el paso 3 en la selección del diagrama de cuerpo libre, Figura 20, para identificar la relación fuerza-velocidad mencionada en el paso 4.

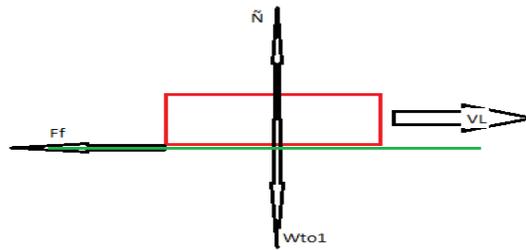


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre

PASO 4. Implementamos una sección del paso 2 que es la implementación de la ley de Newton lo que permitirá identificar las ecuaciones del diagrama del cuerpo libre.

$$\sum f_y = 0$$

$$\tilde{N} - W_{to1} = 0$$

$$\tilde{N} = W t o 1$$

$$F f = \tilde{N} * \mu$$

$$\sum f x = 0$$

$$V L = \sqrt{2 * \mu * \tilde{N} / M t o 1}$$

$$F f - 1/2 * M t o 1 * V L^2 = 0$$

$$= 3.45 \text{ m/s}$$



Figura 21. Relación piñón cremallera ³²

A partir de la velocidad hallada en el proceso y con las siguientes formulas de relación piñón-cremallera se determinara la velocidad de rotación del piñón como también la cantidad de dientes que posee según las consideraciones de exactitud y velocidad para el eslabón, como se está calculando la velocidad de apertura y cierre del gripper no requiere una alta exactitud debido a que el sistema de adquisición de datos suministrara la apertura del gripper con un excedente incluido para el fácil y correcto agarre del medicamento.

³² Modelo Dinámico de Manipuladores. Ricardo Castillo. Facultad de Ingeniera Mecatronica. Universidad Militar Nueva Granada. Abril-2011.

$$Z = D * n$$

$$N = VL/D$$

Donde:

D=> Distancia recorrida por el piñón (1 Rev.)

Z=> Numero de Dientes del Piñón

n=> Dientes de cremallera por centímetro

VL=> Velocidad lineal cremallera

N=> Velocidad de giro del piñón

$$Z = 4cm * 6dientes$$

$$= 24 \text{ cm/dientes}$$

$$\tau = Fpi * d/2 = 13.35 * 0.0127 = 0.1695 \text{ Nm}$$

$$N = \frac{3.45 \text{ m/s}}{4 \text{ cm}} = 86.48 \text{ RPM}$$

Una vez determinado el torque que se produce en el eje del piñón y la velocidad (RPM), se oriento a la búsqueda del motor más adecuado a estas condiciones, se indago en el catalogo de la empresa CROUZET que está enfocada en desarrollar varios motores de diferentes tipos, es decir, motores lineales, paso a paso, de corriente continua entre otros.

Una vez determinado el motor se indago en las características que suministra el distribuidor obtenemos las dimensiones y el peso que posee dicho motor. Una vez determinado el espacio que ocupa el motor se puede hacer una aproximación del tamaño que posee el eslabón. Continuo a ello nuevamente se realiza en diagrama de bloques en pro de determinar las fuerzas ejercidas en el eslabón a calcular.

$$Ves1 = (37.2mm * 37.2mm * 62mm) - (32.2mm * 32.2mm * 62mm)$$

$$Ves1 = 0.000022m^3$$

$$Mes1 = \delta * Ves1$$

$$Mes1 = 0.05658 Kg$$

$$Mmotor1 = 160gr$$

$$Wes1 = 0.56 N$$

$$Wmotor1 = 1.56 N$$

$$Wgrip = Wmotor1 + Wes1 + 2 * Wmat + Wmed + Wcor = 4.7 N$$

$$Mgrip = 0.4791 Kg$$

- Calculo de dimensiones del Brazo

PASO 1 y 2. Una vez determinado el peso y el volumen del gripper, se procede a realizar nuevamente el cálculo para determinar el motor adecuado para generar la traslación prismática que posee este eslabón, Figura 22, y determinar sus dimensiones.

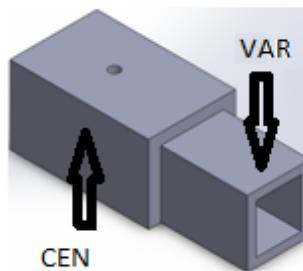


Figura 22. Diagrama de Fuerzas en el eslabón de rotación

$$Vvar = (100mm * 40mm * 40mm) - (37.2mm * 37.2mm * 40mm)$$

$$Vvar = 0.000022 m^3$$

$$\delta = 2660 \text{ Kg}/m^3$$

$$Mvar = \delta * V$$

$$Mvar = 0.0575 \text{ Kg}$$

$$Wvar = 0.56 \text{ N}$$

$$100mm)$$

$$Vcen = (150mm * 80mm * 80mm)$$

$$Vcen = 0.00096m^3$$

$$Mcen = 2.5535 \text{ Kg}$$

$$Wcen = 25.05 \text{ N}$$

PASO 3. Una vez determinado los pesos se realiza la selección del diagrama de cuerpo libre, Figura 23, para identificar la relación fuerza-velocidad mencionada en el paso 4.

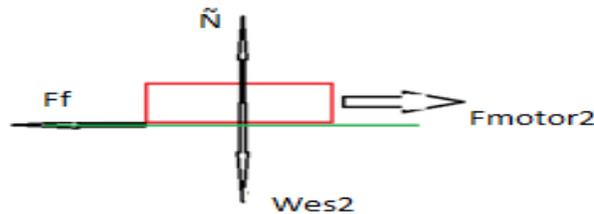


Figura 23. Diagrama de cuerpo libre

PASO 4. Implementamos parte del paso 2 que es la implementación de la ley de Newton lo que permitirá identificar las ecuaciones del diagrama del cuerpo libre.

$$\sum f_y = 0$$

$$\tilde{N} = W_{grip}$$

$$\tilde{N} - W_{grip} = 0$$

$$\sum f_x = 0$$

$$F_{motor2} - F_f = 0$$

$$F_{motor2} = W_{grip} * \mu$$

$$F_{motor2} = 2.86 \text{ N}$$

A finalizar este cálculo obtuvimos una fuerza mínima que el motor debe generar para desplazar el gripper una longitud determinada. Esto nos permitió indagar en otras empresas desarrolladoras de motores lineales en un eje definido.

- Cálculos para el motor de orientación del gripper

Una vez seleccionado el motor a implementar linealmente se realizó otro estudio en base a la rotación del cuerpo y la masa total a trasladar, Figura 24, que está situada a 220 mm del eje de rotación.

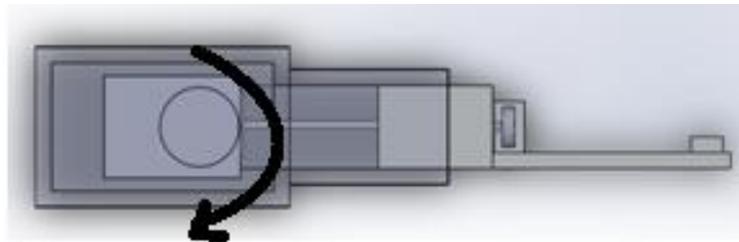


Figura 24. Análisis de rotación

Nuevamente implementamos el paso 1 para determinaremos los pesos ejercidos en el eslabón

$$M_{motor2} = 0.12 \text{ Kg}$$

$$W_{motor2} = 1.17N$$

$$W_{bras} = W_{grip} + W_{var} + W_{motor2} + W_{cen}$$

$$W_{bras} = 31.48 N$$

A partir de este momento se hace un segmento que no está incluido en el diagrama de flujo debido a que este eslabón es único y solo presenta esta característica de rotación, es decir, este eslabón posee la peculiaridad de rotar 180° de manera discreta asegurando que la posición inicial sea en 0° y la posición final tengo 180°, posteriormente se implemento la Segunda ley de Newton

$$Vt = 2\pi * r/t$$

$$t = 1s$$

$$V = 1.38 m/s$$

$$\sum f = m * a$$

$$F_{rot} = M_{grip} * Vt^2/r$$

$$F_{rot} = 4.56 N$$

$$V[m/s] \Rightarrow RPM$$

$$RPM = V * 60s/r * 2\pi = 60 RPM$$

$$\tau = F_{rot} * r \Rightarrow 4.56N * 0.22m = 1.0032 Nm$$

Nuevamente con los datos obtenidos se realizo una búsqueda del motor más adecuado a las necesidades y más aproximado a los resultados suministrados en el cálculo. Posteriormente a esto queda resaltar la realización de 2 procesos más

que determinaran los motores para la traslación vertical y horizontal de los eslabones prioritarios.

- Calculo eslabón horizontal

Retomando la rutina de realización del diagrama de flujo obtenemos los pesos ejercidos e implementamos la primera ley de Newton para determinar las incógnitas de estudio.

$$M_{motor3} = 0.67 \text{ Kg}$$

$$W_{motor3} = 6.57 \text{ N}$$

$$W_{was} = W_{bras} + W_{motor3} = 38.05 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$F_{pi2} - W_{was} - R_{y2} = 0$$

$$\sum \tau_{pi2} = 0$$

$$-89.6 * W_{was} + 83 * R_{y2} = 0$$

$$R_{y2} = 41.07 \text{ N}$$

$$F_{pi2} = W_{was} + R_{y2} = 79.12 \text{ N}$$

Al obtener las fueras, realizamos le diagrama de cuerpo libre, Figura 25, para identificar como está funcionando el eslabón en estudio.

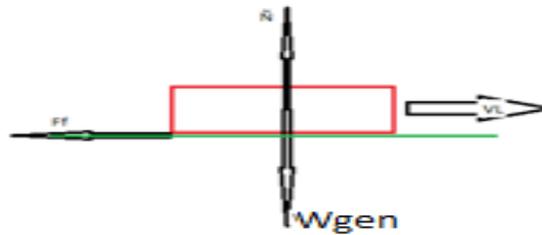


Figura 25. Diagrama de cuerpo libre

Continuando en la rutina utilizamos el diagrama de cuerpo libre en relación a la primera ley de Newton y nuevamente re implementamos los primeros pasos del diagrama de flujo

$$V_{hor} = (200mm * 200mm * 250mm) - (190mm * 190mm * 240mm)$$

$$V_{hor} = 0.001336m^3$$

$$M_{hor} = 3.55 Kg$$

$$W_{hor} = 34.82 N$$

$$W_{gen} = W_{ho} + W_{was}$$

$$W_{gen} = 72.87 N$$

$$M_{gen} = 7.42 Kg$$

Utilizamos la primera ley de Newton para determinar la relación fuerza velocidad en el eslabón de estudio permitiendo realizar a continuación los cálculos de la corona-sinfín

$$\sum f_y = 0$$

$$\tilde{N} - W_{gen} = 0$$

$$\tilde{N} = W_{gen}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$Ff - \frac{1}{2} * M_{gen} * VL^2 = 0$$

$$Ff = \tilde{N} * \mu$$

$$VL = \sqrt{\frac{2 * \mu * \tilde{N}}{M_{gen}}} \\ = 3.46 \text{ m/s}$$



Figura 26. Relación corona- sinfín ³³

Nuevamente implementamos la teoría de relación corona-sinfín, Figura 26, para determinar la velocidad (RPM) ejercida en el eje del motor

³³ BARRIENTOS, Antonio; PEÑÍN, Luis Felipe; BALAGUER, Carlos; ARACIL, Rafael. Fundamentos de Robótica. McGraw-Hill Interamericana de España S.A.U. 1997

$$nw = \frac{3.46}{\pi * 0.0508}$$

$$ng = \frac{nw}{2}$$

$$vtan = 0.0508 * \pi * ng$$

$$w = Vtan/0.0508$$

$$N = \frac{3.46 \text{ m/s}}{7 \text{ cm}} = 86.11 \text{ RPM}$$

$$\tau = Fpi2 * d/2 = 79.12 * 0.038 = 3 \text{ Nm}$$

Se realiza la búsqueda de los motores que se asemejen a las necesidades entre los catálogos obtenidos de los distribuidores, afín de encontrar un motor viable para el sistema.

$$Mmotor4 = 0.92 \text{ Kg}$$

$$Wmotor3 = 8.82 \text{ N}$$

$$Vcorre = 0.002304 \text{ m}^3$$

$$Mcorre = 6.12 \text{ Kg}$$

$$Vcorr = (10 \text{ mm} * 10 \text{ mm} * 2880 \text{ mm})$$

$$Wcorre = 60.12 \text{ N}$$

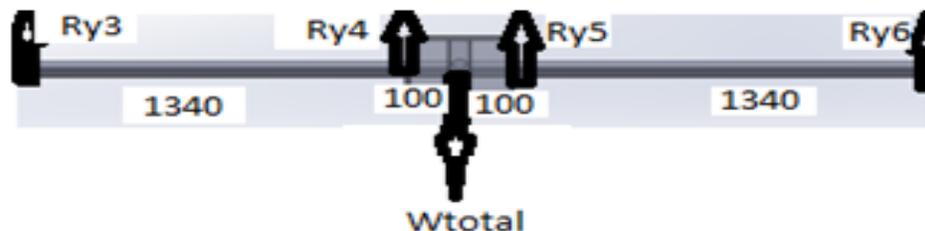


Figura 27. Diagrama de momento flector del eslabón horizontal

$$W_{total} = W_{motor4} + W_{gen} + W_{corre}$$

$$W_{total} = 141.81 N$$

$$\sum f_y = 0$$

$$R_{y3} + R_{y4} + R_{y5} + R_{y6} = W_{total}$$

$$R_{y4} + R_{y5} = 41.07 N$$

$$R_{y4} = 20.53 N$$

$$\sum \tau_{ry3} = 0$$

$$-2880 * R_{y6} - 1540 * R_{y5} + 1440$$

$$* W_{total} - 1340 * R_{y4}$$

$$= 0$$

$$R_{y6} = R_{y3} = 50.37 N$$

$$W_{esla} = W_{total} - R_{y3}$$

$$W_{esla} = 91.44 N$$

- Calculo eslabón vertical

Realizamos por última acción los primeros pasos para determinar fuerzas, pesos ejercidos en el último eslabón, Figura 28, debido a que este se encargara de soportar todo el peso del manipulador.

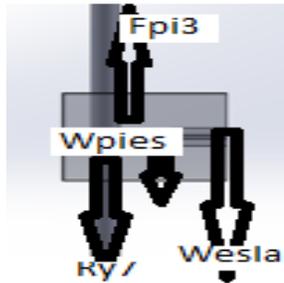


Figura 28. Diagrama de fuerzas del eslabón vertical

$$V_{pies} = (250mm * 250mm * 300mm) - (240mm * 240mm * 290mm)$$

$$V_{pies} = 0.002046 \text{ m}^3$$

$$M_{pies} = 5.44 \text{ Kg}$$

$$W_{pies} = 53.36 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$F_{pi3} - R_{y7} - W_{pies} - W_{esla} = 0$$

$$\sum \tau_{Ry7} = 0$$

$$-70 * F_{pi3} + 114.6 * W_{pies} + 264.6 * W_{esla} = 0$$

$$F_{pi3} = 433 \text{ N}$$

$$R_{y7} = 288,2 \text{ N}$$

Se implemento el diagrama de cuerpo libre al último eslabón, Figura 29, y la primera ley de Newton para determinar la relación de fuerza velocidad.

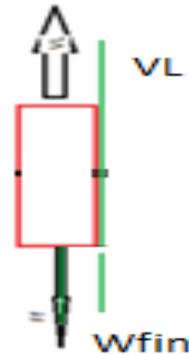


Figura 29. Análisis de velocidad

$$W_{fin} = W_{pies} + W_{esla}$$

$$W_{fin} = 144.8 \text{ N}$$

$$M_{hor} = 3.55 \text{ Kg}$$

$$M_{fin} = 14.76 \text{ Kg}$$

$$\sum f_x = 0$$

$$W_{fin} - \frac{1}{2} * M_{fin} * VL^2 = 0$$

$$F_f = \tilde{N} * \mu$$

$$VL = \sqrt{2 * W_{fin} / M_{fin}} = 4.42 \text{ m/s}$$

Finalmente determinamos la velocidad ejercida por el eslabón sobre el motor al desplazarse en el tornillo sinfín.

$$n_w = \frac{4.42}{\pi * 0.0508}$$

$$w = V_{tan} / 0.0508$$

$$n_g = \frac{n_w}{2}$$

$$W = 43.5 \text{ RPM}$$

$$v_{tan} = 0.0508 * \pi * n_g$$

$$\tau = F_{pi3} * r = 433 \text{ N} * 0.0381 \text{ m} = 16.45 \text{ Nm}$$

Finalizando los cálculos de los torques y fuerzas ejercidas en los eslabones, se completo la selección de los motores que deben intervenir principalmente en el diseño del manipulador robótico.

4.2.2. Adquisición de Datos

4.2.2.1. Procesó de adquisición de datos

Para el proceso de adquisición de datos este se realizara con un lector de códigos de barras y una cámara web, para identificar el producto y sus características, y para identificar la ubicación y ancho de este en el lugar para la manipulación del producto con el gripper.

Los dos elementos tanto la cámara como el lector se comunicaran con el computador por puerto USB, ya que este es un puerto universal, la lectura del código de barras se efectuara de forma manual por un empleado, teniendo en cuenta que solo tiene que pasar el producto por el lector para identificarlo, sin presionar ningún botón, después el producto se colocara en la posición adecuada, para su posterior trabajo de tratamiento de imágenes y manipulación.

4.2.2.2. Configuración del lector de códigos de barras

El lector de códigos de barras utilizado para el proyecto será el CCD 310, el cual se puede utilizar de forma manual o automática la lectura, para nuestro caso se

seleccione la forma automática, para evitar que el empleado este constantemente presionando el botón del lector de códigos de barras para identificar el producto.

4.2.2.3. Configuración de la cámara web

En el proceso de tratamiento de imágenes se selecciono una cámara web por puerto USB, para facilitar su posicionamiento, ya que la cámara debe estar fija en un lugar en el cual tengo buen rango de visión donde se colocara el producto, además de beneficiarnos con el hecho de que al estar fija los valores de posición de los pixeles con respecto al fondo no cambiarían, es decir, que cada pixel estará fijo en la imagen con respecto al fondo aunque varié su color, esto sirve para poder realizar una conversión más aproximada de pixeles a cm, para detectar el centro en x y ancho de la imagen

4.2.3. Representación de la interfaz del programa

4.2.3.1. Identificación del producto

Para el proceso de identificación del producto, este se realizo por medio de un lector de códigos de barras, el cual se selecciono el CCD 310 por sus características, como también su economía para las pruebas de interfaz que se requerían, como la trasmisión por puerto USB y su auto configuración según la necesidad del usuario ya sea manual o automática para lectura de códigos de barras.

El proceso de identificación del producto se resume a lectura, búsqueda e identificación, En el cual se lee el código de barras con el lector conectado por puerto USB al computador, luego de este proceso, el programa compara los códigos de barras con los existentes, si este es encontrado visualiza sus características, si no, visualiza un mensaje diciendo que el producto no fue encontrado.

4.2.3.2. Tratamiento de la adquisición de datos

Posteriormente a la identificación del producto, se realizaron las pruebas pertinentes para la interfaz, mediante Microsoft Visual C#, en la cual se trabaja la adquisición de imágenes para la ubicación del centro de la caja, la visualización de las posiciones del producto en el estante, tanto en y como en x y la obtención de las características de los productos, como son: nombre del producto, centro en x y ancho de la caja.

Como se muestra en la Figura 30, podemos observar el diagrama de flujo del funcionamiento del programa.

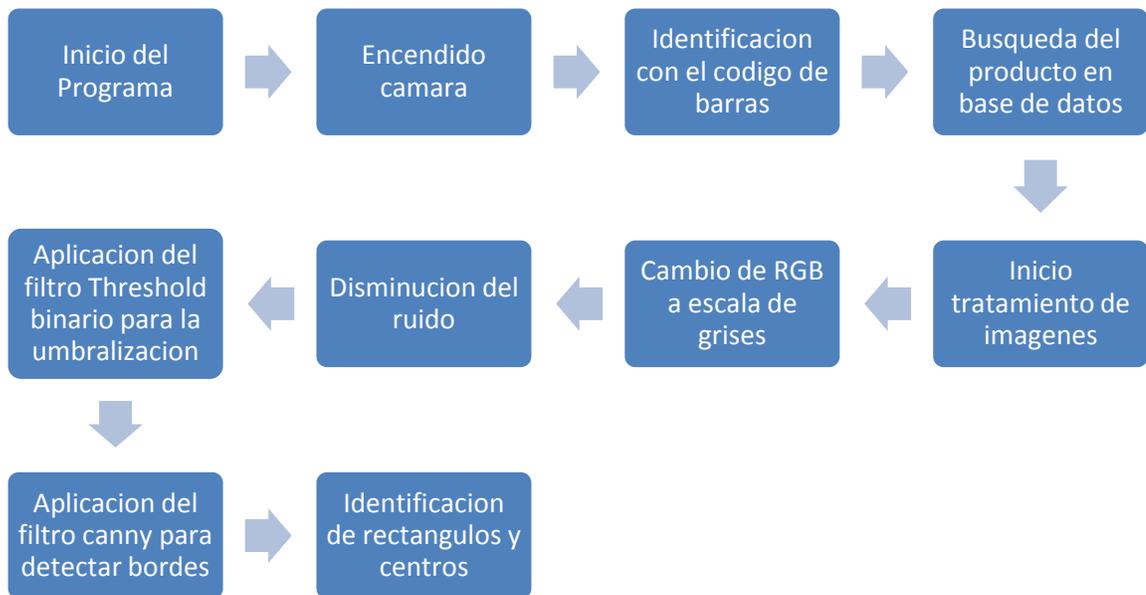


Figura 30. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa

Se procederá a explicar brevemente los diferentes procesos en el programa:

En cuanto al encendido de la cámara este, al iniciar la cámara utiliza el segundo dispositivo que encuentre, por ejemplo en un portátil el segundo dispositivo de captura de video es una webcam conectada por USB, ya que el primer dispositivo sería la webcam interna. De igual manera si solamente existe un dispositivo de captura de video el programa utilizara este por defecto.

La identificación del código de barras se realiza mediante el lector de códigos de barras seleccionado anteriormente (Lector de códigos de barras CCD 310)

Posteriormente a la lectura del código de barras el programa buscara si el código de barras leído, se encuentra dentro de los códigos de barras existentes en el

programa, de no ser así el programa nos notificara que el producto no se encuentra.

Después de colocar el producto, se procede al tratamiento de imágenes, el cual se consideraron varias opciones y varias restricciones, las cuales son las siguientes:

- La primera parte del tratamiento de imágenes se centro en identificar el producto con un fondo cualquiera, el cual genero demasiado ruido como se muestra en la figura 31.

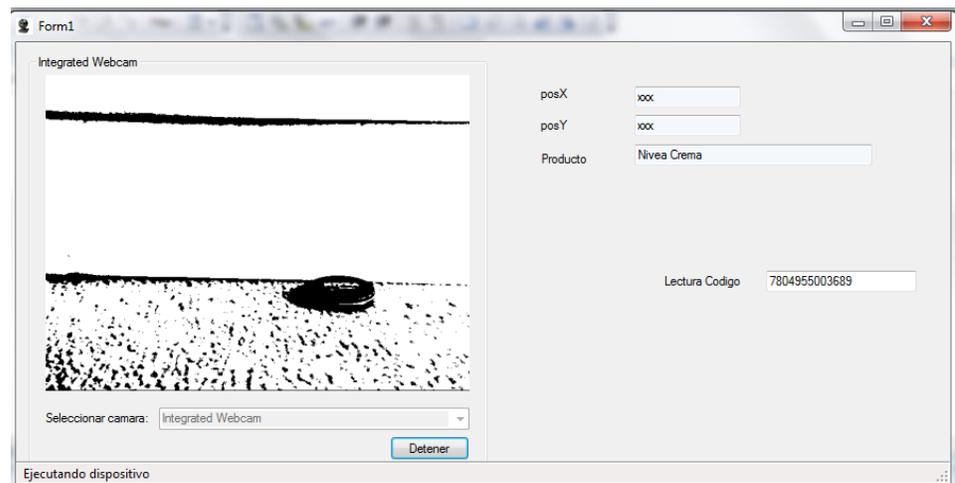


Figura 31. Identificación del producto con fondo cualquiera

Los principales problemas encontrados con este programa base fue el gran costo computacional, ya que el código de umbralizacion fue desarrollado por nosotros y modificaba los valores de pixeles dentro de un ciclo, cabe resaltar que los valores del umbral estaban entre 100 y 125 para las pruebas. Por lo cual se procedió a trabajar con la librería de EMGU CV.

- Al trabajar con la librería de EMGU CV, nos dimos cuenta que el costo computacional era mucho menor, además de poder crear un Imagebox, con el cual se podían hacer varias pruebas de filtros y este mismo nos generaba el código.³⁴

Las primeras pruebas que se hicieron requirieron de otra librería llamada Aforge, con la cual primero se capturaba la imagen con EMGU CV, después de capturar la imagen se realizaba un threshold o umbral utilizando la misma librería de EMGU CV, después se utilizaba la librería de Aforge para aplicar los filtros, en este caso se aplicaba el `MoravecCornersDetector()`, para la detección de esquinas en el objeto, dando como resultado las siguientes imágenes:

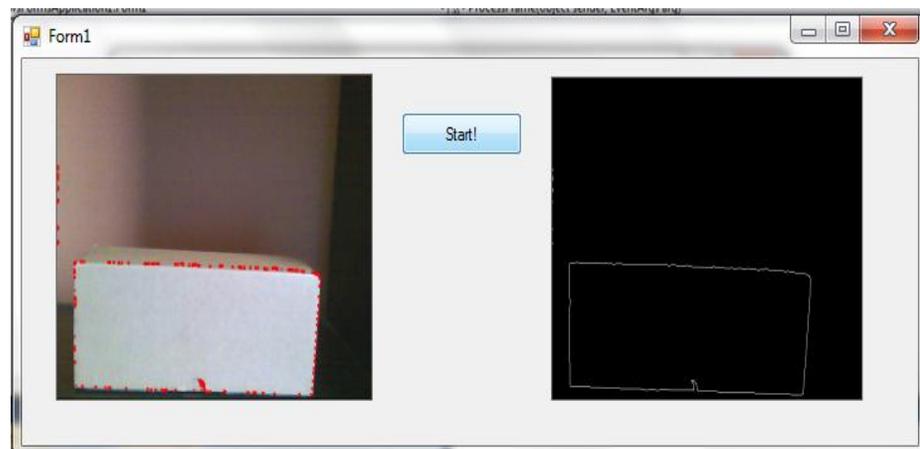


Figura 32. Detección de bordes y esquinas para una caja

³⁴ EMGU CV. Cross platform. NET wrapper to intel OpenCV image processing library. www.emgu.com

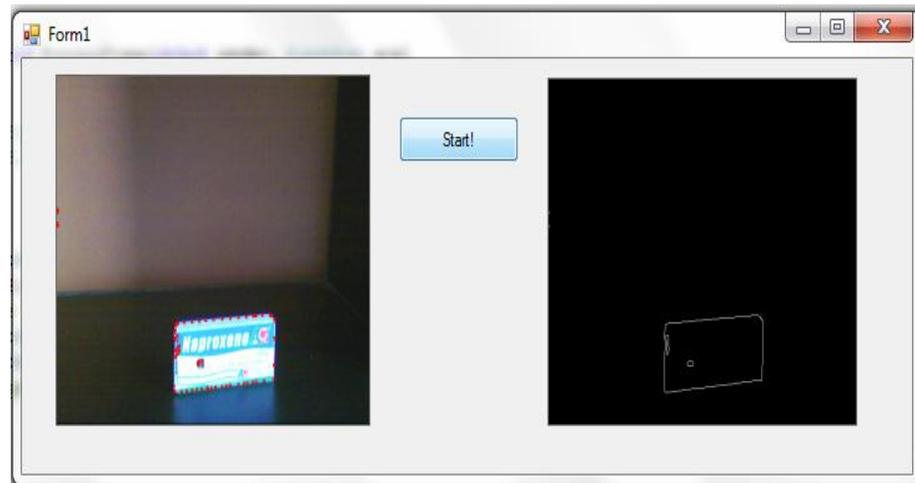


Figura 33. Detección de bordes y esquinas para un producto

Al continuar realizando las pruebas, se puede apreciar que dependiendo de los colores de la caja, Figura 32, o de un producto, Figura 33, se generaba mucho ruido en la imagen, además que para evitar el ruido dentro de la caja, cambiando el valor del umbral, se generaba más ruido en el fondo, ya que como podemos apreciar en las imágenes anteriores existía ruido en los bordes generados por el reflejo de la imagen, prácticamente con lo cual tocaba modificar o limitar la visión de la cámara para disminuir este ruido generado por el reflejo. En la Figura 34 se puede apreciar el ruido generado por el cambio de umbral para detectar otros tipos de cajas con diferentes colores.

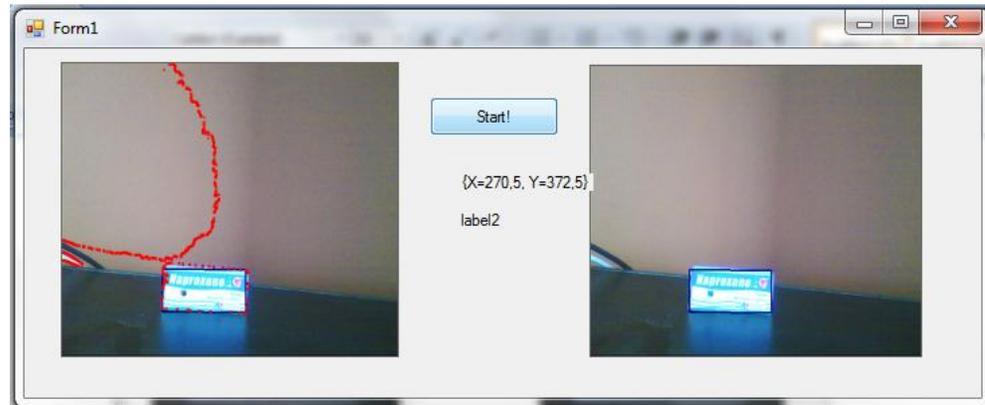


Figura 34. Identificación del brillo dentro del fondo

Estos efectos fueron negativos, por lo cual se propuso crear un fondo para disminuir el ruido y a su vez poder tener mayor variabilidad a la hora de detectar las cajas con diferentes colores.

- El color del fondo que se eligió, fue el negro, con lo cual se hicieron 2 paredes y una base, dejando 2 áreas libres una para depositar el producto y la otra en donde el dispositivo sujetaría el producto.

Al realizar las pruebas con el fondo, se procedió a cambiar la utilización del filtro de Aforge, por el filtro de canny de EMGU CV, ya que con este mismo era más fácil la detección de los objetos, generando una función para detectar los objetos de formas cuadradas fácilmente. Los pasos a seguir dentro del nuevo programa son los siguientes:

- La captura de imagen y la disminución de ruidos con EmguCV, la umbralización y la detección de bordes con los filtros `ThresholdBinaryInv()` y `Canny()` respectivamente.

Y por último se generaba un recuadro azul delimitando el contorno de la caja.³⁵

- Tomando en cuenta lo anterior, se realizaron las pruebas para la conversión de pixeles a cm para detectar el ancho de la caja y su respectivo centro en la posición X, con respecto al centro del gripper.

Para realizar estas pruebas se mantuvo la cámara fija, para evitar que los valores de los pixeles variaran dentro de la imagen, así como también se trazo una línea base en la base del fondo para limitar la colocación de los objetos, ya que si dependiendo de la ubicación en el fondo se variaban la conversión de pixeles a cm.

En las Figuras 35, 36 ,37 se muestran las pruebas realizadas para la conversión de los valores de pixeles a cm

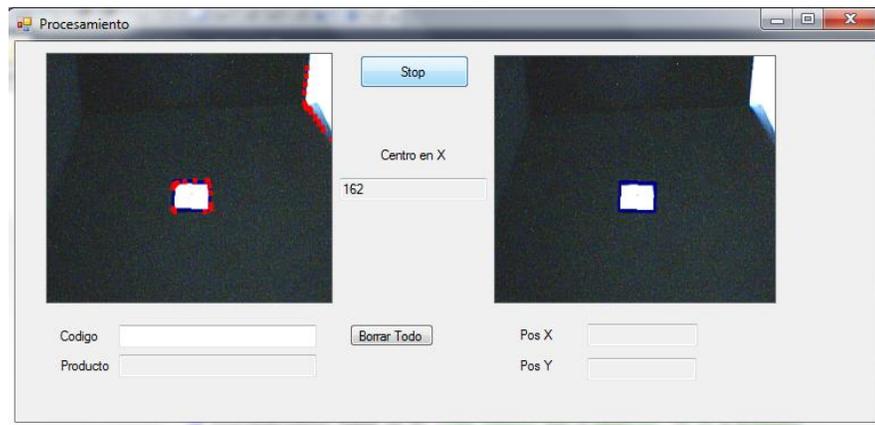


Figura 35. Prueba con objeto en el centro

³⁵ EMGU CV. Cross platform. NET wrapper to intel OpenCV image processing library. www.emgu.com

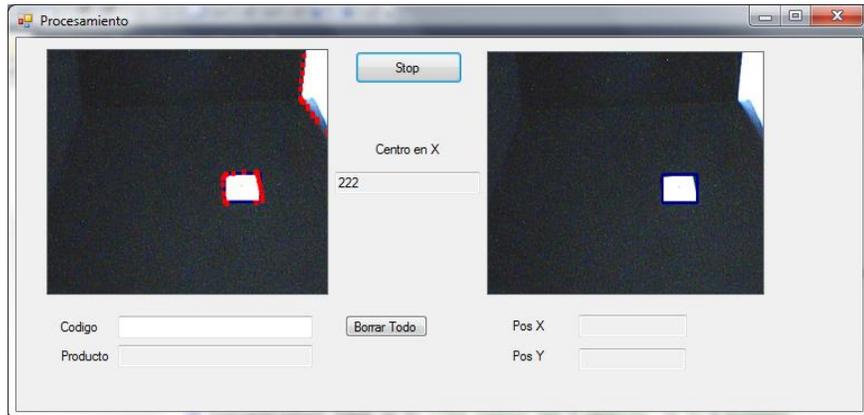


Figura 36. Prueba con objeto corrido derecha 5 cm

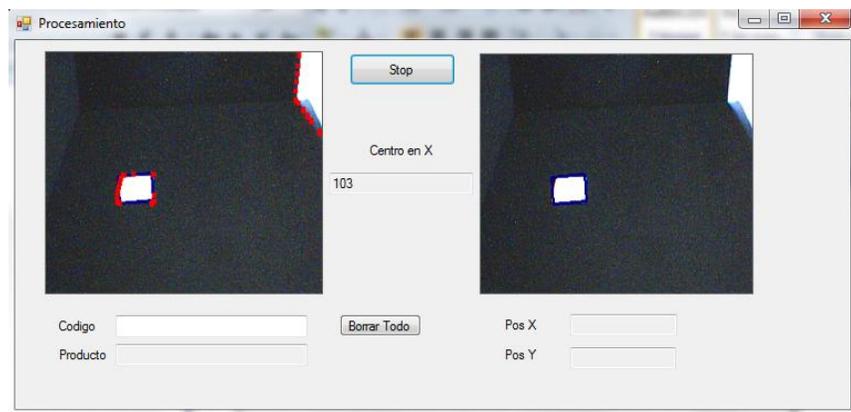


Figura 37. Prueba con objeto corrido izquierda 5 cm

Después de obtener estos valores se realizó la conversión de píxeles a cm, de tal forma que en el centro del gripper el valor fuera 0, y a su derecha fueran positivos y a su izquierda negativos, para poder tener una idea de cuánto se estaba desplazando del centro del gripper y cuánto y en qué dirección.

- Después de realizar la conversión de píxeles a cm, se procedió a realizar las pruebas con diferentes productos, una de las razones por la cual se

escogió el fondo de color negro fue para cambiar los valores del umbral a un umbral bastante bajo, el código que utilizamos para el umbral fue el siguiente: `ThresholdBinaryInv(new Gray(8), new Gray(255))`, el cual el valor de umbral es 8, ya que como el fondo aunque sea negro tendría algunos valores diferentes a negros por los reflejos de la luz, y el otro valor es 255, lo que indica que los valores menores a 8 cambiarían por 255 y los mayores por 0, teniendo ya los filtros, el fondo y la conversión de pixeles a cm, se procedió a realizar las pruebas con diferentes productos, como se muestran en las Figuras 38, 39 ,40.

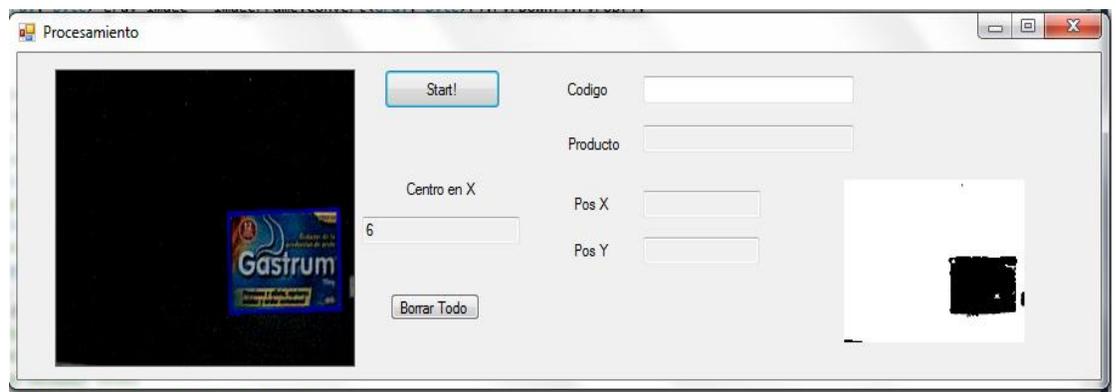


Figura 38. Identificación del producto con centro corrido en 6 positivo

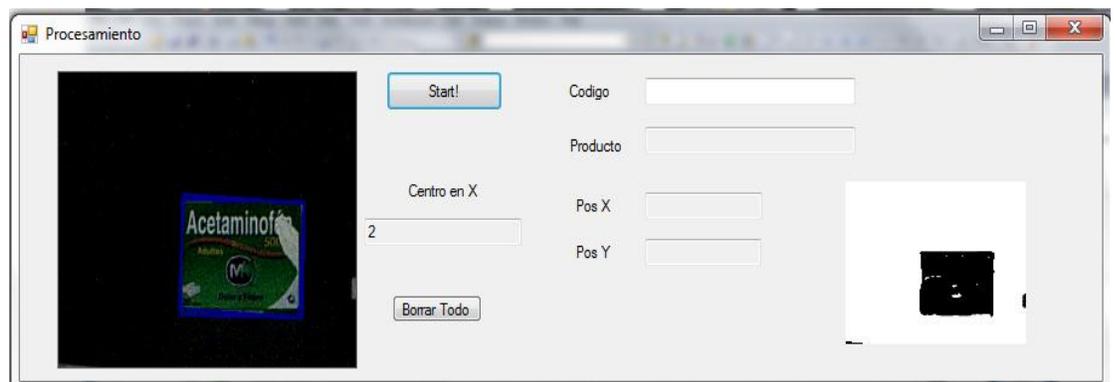


Figura 39. Identificación del producto con centro corrido en 2 positivo

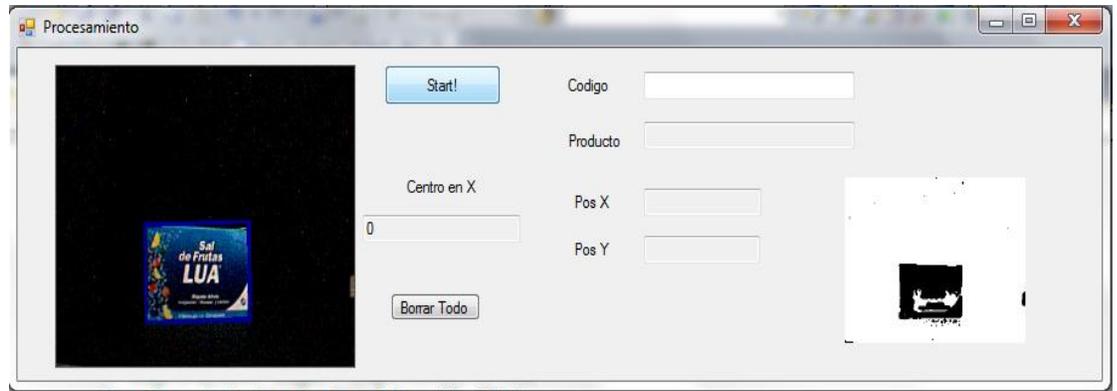


Figura 40. Identificación del producto con centro en 0

Como se puede observar en las pruebas, el centro del objeto se muestra con valores positivos y negativos para poder relacionar este con el centro 0 del Gripper, además en el lado derecho del programa se puede observar los filtros realizados para llegar a la detección de imagen.

- Por último encontramos los otros recuadros, que aparte del centro en X podemos encontrar: código de barras, nombre del producto, posición en x y posición en y en el estante, los cuales estos datos se encuentran consignados en la tabla 2, estos son los productos que se utilizaran para las simulaciones.

5. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Simulación del Proyecto

Dentro de los objetivos pre-establecidos se busco implementar un software que permita visualizar el modelo dinámico del manipulador, para esto se utilizaron 2 herramientas, una en diseño y otra en procesamiento matemático.

La herramienta de diseño que se implemento en el desarrollo de la estructura del manipulador en detalles fue SOLIDWORKS por la accesibilidad y compatibilidad de la herramienta SIM_MECHANICS de MATLAB al momento de realizar la exportación de los ensambles. Algunos de ellos los podemos visualizar en la Figura 41.³⁶

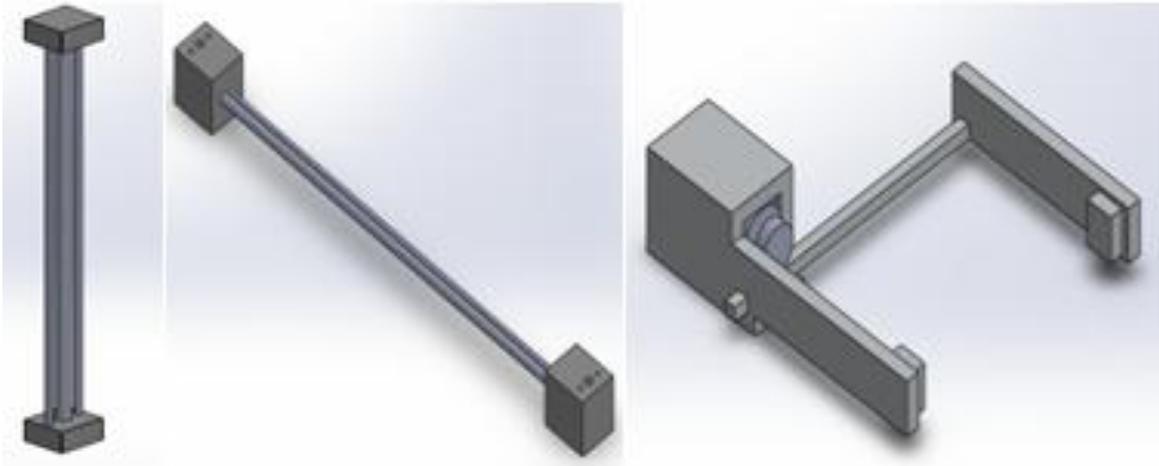


Figura 41. Exportaciones de eje vertical, eje horizontal y gripper

³⁶ SANS Wilmer, HERRERA Clemente, OBEDIENTE Luis. Universidad Carabobo. Valencia Venezuela. Diseño de software para la modelación de manipuladores con matlab y simulación 3D con roboworks. Abril 2004.

Una vez terminados los conjuntos se procede a exportar los ensamblajes mediante los requerimientos suministrados en SIM_MECHANICS para transformar y generar el conjunto de la estructura del manipulador permitiendo identificar las juntas como los centros de gravedad de cada una de las piezas.³⁷

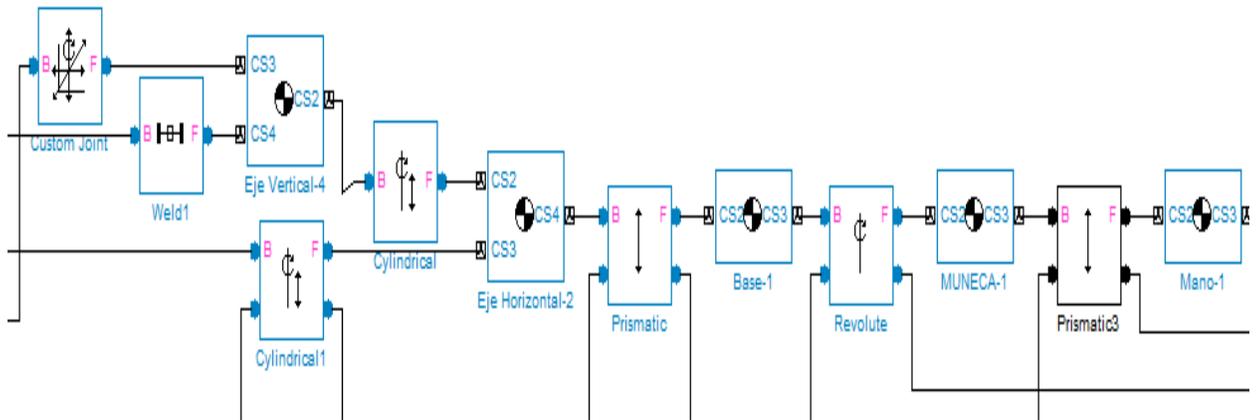


Figura 42. Estructura del manipulador en Simulink

Finalizando el proceso de conversión del ensamblaje en simulink, ya se puede realizar los pasos de orientación del mecanismo como la velocidad ejercida en cada uno de los motores, permitiendo ajustar los retardos que deben poseer para su adecuado funcionamiento.

³⁷ Silva Luis Ángel. Ingeniero Electrónico. Control visual de robots paralelos. Análisis , desarrollo y aplicación a las plataformas robotenis. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. 2005

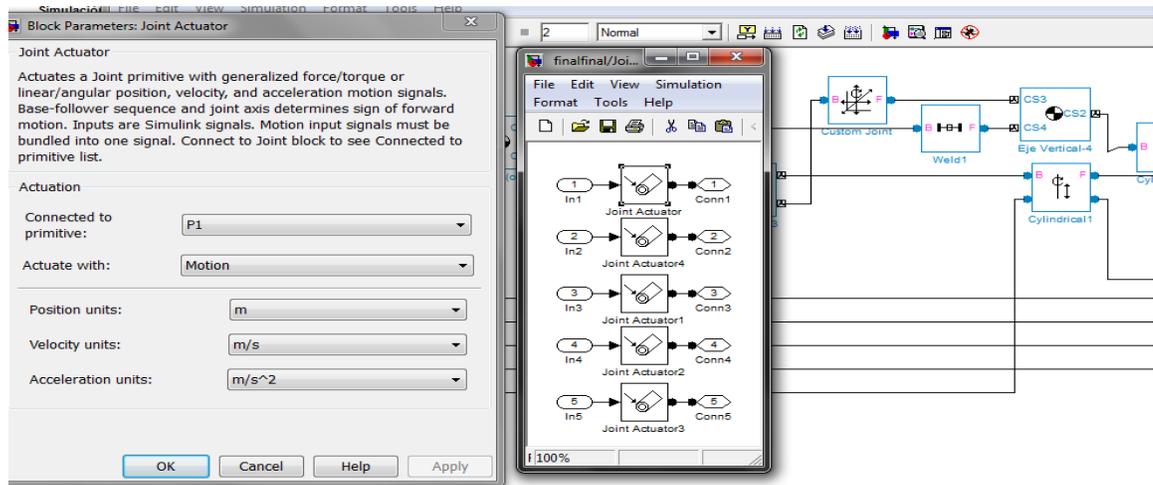


Figura 43. Selección de Unidades y Variables a evaluar

Una vez determinado los sentidos y las unidades en sistema ingles o internacional de las señales de aceleración, velocidad y posición, se genera un ingreso de doble integración en la que se enviara los datos mediante un vector dinámico a la estructura que será influenciado mediante el ingreso de las coordenadas del medicamento, es decir, el programa recibe las coordenadas X e Y del medicamento y mediante una interpolación debidamente establecida trasmite los datos a las señales como se muestra en la Figura 42.

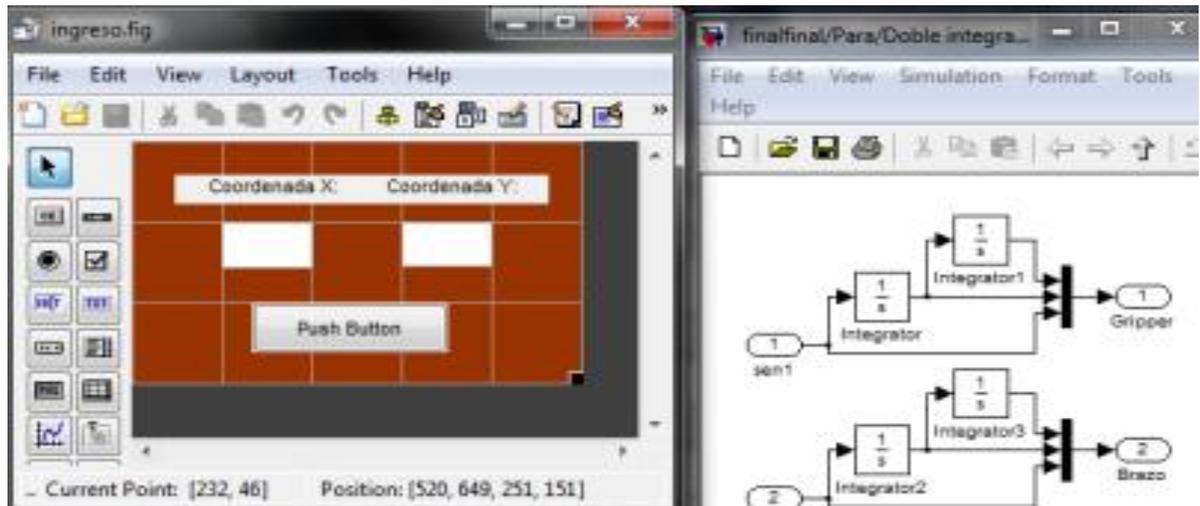


Figura 44. Integración GUI a la simulación.³⁸

Finalmente en la figura 45 se observa la manipulación del sistema se va implementando mediante la herramienta GUI una ventana Pop donde se ingresara las coordenadas del medicamento para su ejecución en el software.

Posteriormente el sistema realizar un llamado al sistema y así corroborar su correcto funcionamiento. Dentro de la estructura y diseño de la interfaz de bajo rendimiento los llamados de las variables de aceleración, velocidad y posición relevantes a cada uno de los eslabones se encuentra de manual mientras se van realizando los ajustes pertinentes al diseño y a las necesidades de los autores para facilitar realización del modelo a partir de las herramientas suministradas por matlab, es decir, el software esta principalmente enfocado en la adquisición y tratamiento de datos que preceden a la simulación estructura mediante las herramientas de matlab.

³⁸ Barragan Guerrero Diego Orlando. Manual de interfaz grafica de MATLAB. 2008. Tomado de : www.matpic.com.

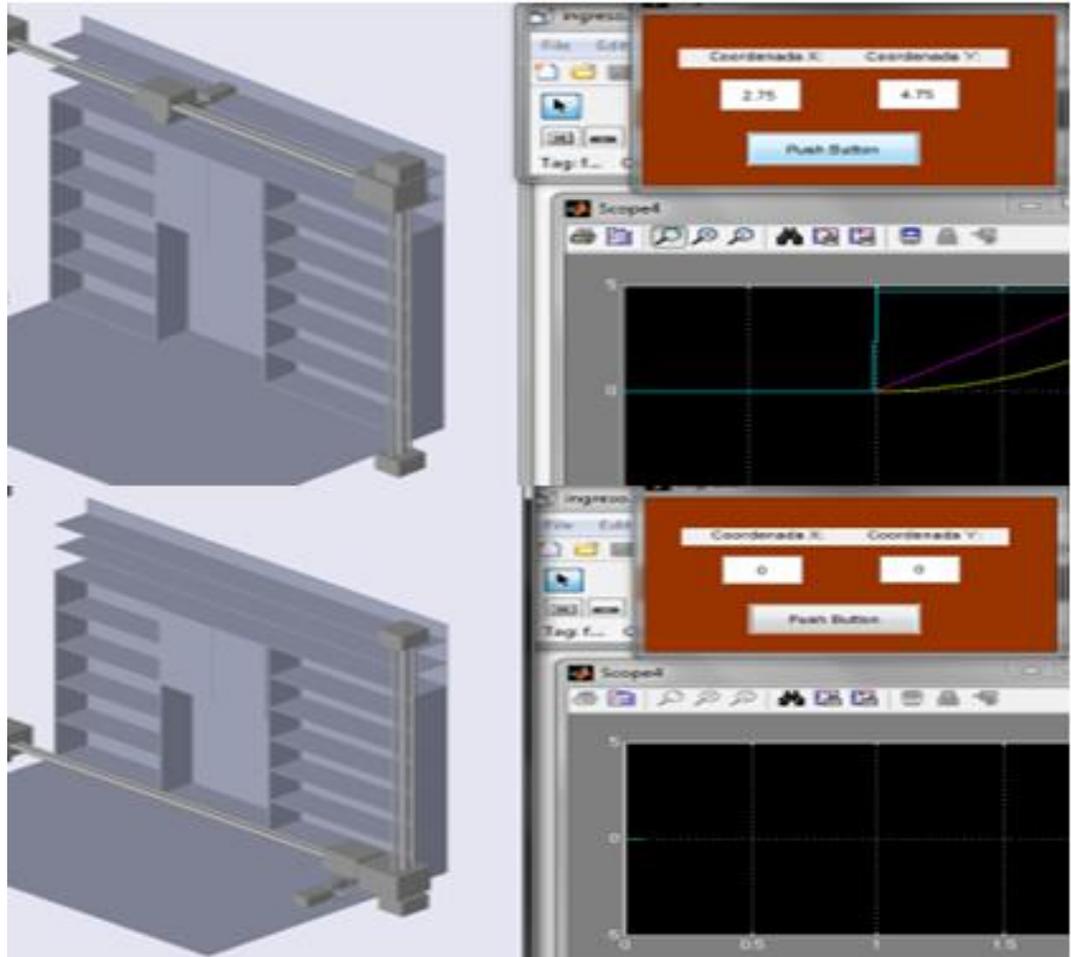


Figura 45. Imágenes tomadas en posición inicial y posición final. ³⁹

Prosiguiendo en la profundización del proyecto como en la búsqueda de nuevos avances que permitan mejorar y referenciar la opción de grado se realizaron mejoras en las estructuras del manipulador permitiendo generar planos con más detalle, como también ajustar los movimientos de cada uno de los eslabones y rectificar posibles conflictos de desplazamientos.

³⁹ Barragan Guerrero Diego Orlando. Manual de interfaz grafica de MATLAB. 2008. Tomado de : www.matpic.com.

Una de las mejoras o avances que se realizó dentro de la interfaz GUI, es el llamado de las variables de manera independiente según el eslabón a evaluar. Figura 46.

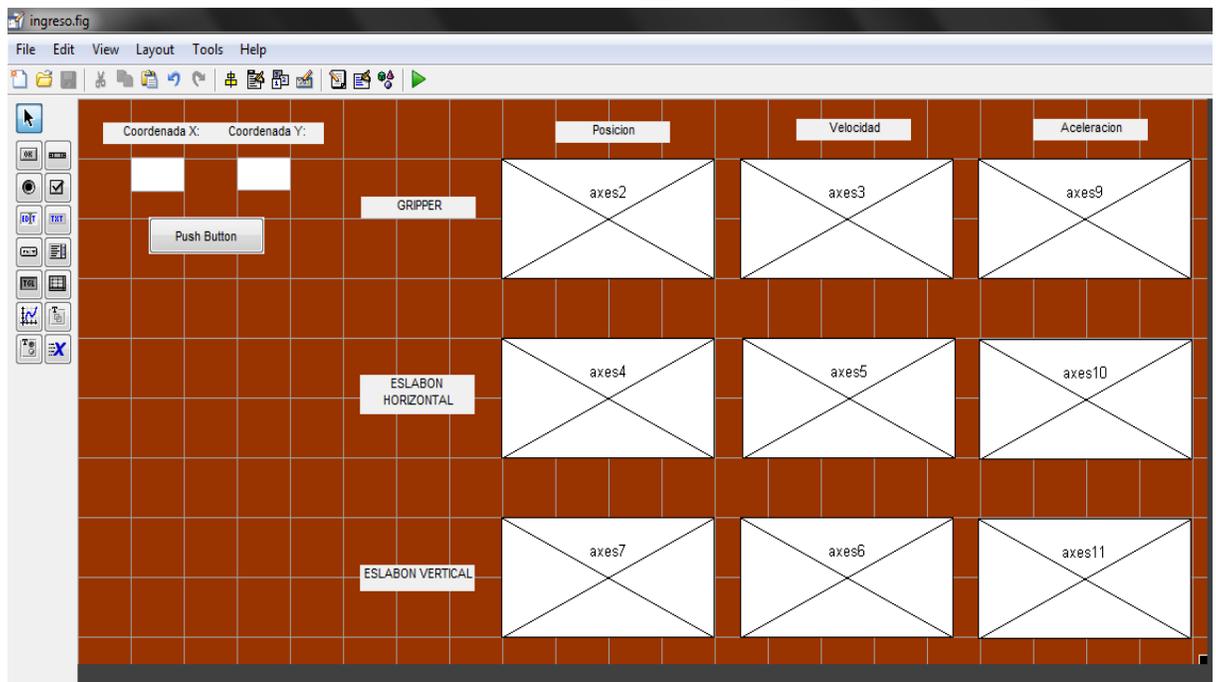


Figura 46. Nueva Interfaz de la simulación

Una sección que falta por mencionar y visualizar es el código implementado para ejecutar el llamado de las piezas como también la ejecución de los cálculos a los valores ingresados para su traslación asignada. Figura 47, posteriormente se puede observar 2 secciones de código en la figura recién mencionada en donde se tiene el llamado de parámetros de los motores respectivos a cada eslabón permitiendo editarlos y enviar los voltajes pertinentes a los desplazamientos suministrados por el medicamento en la base de datos.

```

h=get_param('finalfinal/Para/Verti','DialogParameters');
j=get_param('finalfinal/Para/Horizon','DialogParameters');
set_param('finalfinal/Para/Verti','After',y1);
set_param('finalfinal/Para/Horizon','After',x1);
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start');
axes(handles.axes2);
myopts = simset('SrcWorkspace','current');
sim('finalfinal',[],myopts);
plot(a1.signals.values);

axes(handles.axes3);
myopts = simset('SrcWorkspace','current');
sim('finalfinal',[],myopts);
plot(a.signals.values);

axes(handles.axes9);
myopts = simset('SrcWorkspace','current');
sim('finalfinal',[],myopts);
plot(a2.signals.values);

```

Figura 47. Código en GUI

Junto a la figura 47 y la figura 48 observamos diferentes funciones de llamado, como también las ecuaciones correspondientes a los cálculos para determinar los valores de las corrientes que deben utilizar los motores.

```

find_system('Name','finalfinal');
open_system('finalfinal');

x1=get(handles.edit1,'String');
y1=get(handles.edit2,'String');

%h=get_param('finalfinal/Para/Verti','DialogParameters');
%j=get_param('finalfinal/Para/Horizon','DialogParameters');
set_param('finalfinal/Para/Verti','After',y1);
set_param('finalfinal/Para/Horizon','After',x1);
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start');

(g*[m11+m12+m13+mm2+mm3]-g*[m11(d2-lcos(tetha))]);

im1*{Kr1}^2+m11+m12+m13+mm2+mm3 ;
(d2-lcos(tetha))*m13;
il2+il3+im2*{Kr2}^2+im3+m12+m13+mm3 ;
il3-d1*m13 ;
{d1}^2*m12+{d2}^2*m13-2*d2*lcos(tetha)*m13+il3+im3*{Kr3}^2+1*{cos2(te
m13*(1+lcos(tetha))));
(-m13);
(m13*(1+lcos(tetha))*2*[d1*m12+m13(d2-lcos(tetha))-m13*lsen(tetha)*cos

```

Figura 48. Ecuaciones de Verificación

6. CONCLUSIONES

- Una de las dificultades más grandes del proyecto fue la falta de cooperación por parte de las droguerías para realizar la toma de datos, tanto de los tiempos como de las medidas de los estantes.
- El análisis de las estructuras para el dispositivo robótico, no presento mucha complicación gracias a las restricciones de movilidad y espacio de trabajo que se encontraban en el proyecto.
- En el tratamiento de imágenes se encontraron varias dificultades a la hora de adquisición de datos, como la iluminación, la cual generaba mucho reflejo dentro del fondo y hasta dentro del mismo producto, y la gran variedad de colores en los productos, lo que dificultaba la selección de un valor umbral y la variedad filtros existentes para el procesamiento de la imagen.
- El uso de librerías como Emgu Cv o Aforge.net, facilitaron el proceso de tratamiento de imágenes y redujeron considerablemente el costo computacional a la hora de realizar el tratamiento de imágenes.
- Mediante la interfaz entre solidworks y matlab, se permitió la interacción estrecha de varias aplicaciones como el toolbox de Sim Mechanics, Simulink, Interfaz GUI, estudio de movimiento, estudios estáticos, entre otros, el cual facilito la simulación del modelo dinámico del proyecto.

- Para realizar la base de datos de posiciones XY, se genero en base a las simulaciones del proyecto, teniendo en cuenta las restricciones de los productos, como son la manipulación de cajas y la cantidad de productos a manipular en el caso 25 productos.
- Al incluir las nuevas modificaciones de las piezas y ajustes de la interfaz en la simulación, se genero un gasto computacional innecesario a los requerimientos que se deseaban evaluar debido al amplio detalle de cada pieza. Motivo por el cual se mantuvo en las mínimas condiciones el simulador para reducir el gasto computacional y permita una rápida evaluación del desempeño y funcionamiento.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

- Una de las principales recomendaciones para las futuras mejoras del proyecto, consistiría en la complementación del dispositivo robótico, que este no se limitara a solamente la organización de los productos sino que a su vez, este pueda recogerlos, para ello se debe acoplar el programa al inventario de mercancías, para saber con cuantos productos se cuentan en el estante para su organización o recolección. Además mejorar la manipulación de los productos, quitándole la restricción en la administración de cajas de productos.

- Se sugiere en pro de la investigación del proyecto, realizar los análisis pertinentes del manipulador implementando el sistema de traslación mediante correas para poder obtener una mayor velocidad Vrs precisión.
- Se recomienda generar una base de datos, conjunta con el inventario para aumentar el número de productos a manipular y no limitarse a un artículo por producto, y así mejorar la etapa de posicionamiento y recolección de productos.
- A la hora de implementar el proyecto se recomienda su debido tratamiento del lugar en el cual se posicionaran la cámara y el manipulador, el cual constara de un debido espacio de trabajo y una buena iluminación, para que el dispositivo este siempre en funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ACKERMAN, Evan. Slick Robotic System Makes UCSF's Pharmacy Safer and More Efficient, IEEE Spectrum.

[2] ROJAS, Jorge. INGEBORG, Mahla A. MUÑOZ, Gerardo. CASTRO A. Daniel. Diseño de un sistema Robótico Cartesiano Para Aplicaciones Industriales.

[3] Robótica información de gestión. Salamanca. Diciembre 1999.

[4] OPORTO Díaz, Samuel. Inteligencia artificial y robótica. Introducción a la robótica. <http://www.slideshare.net/mgarofalo85/robotica-2865399>.

[5] Dr. Oscar Avilés, Dr. Paola Niño. Introducción a la robótica con ilustraciones. Editorial Universidad Central. Calculo de Cinemática. Pág. 42

[6] Servicios tecnológicos para la gestión de medicamentos en farmacias. Barcelona España. PYSSA, Pol. Industria Zona Franca Sector Central. www.pyssa.com, www.3ar.es

[7] Teoremas de relaciones corona-sinfín, piñón correa. Y teoremas de desarrollo mecánico. Tomada de:

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm.

- [8] Componentes, estructuras, morfologías y teoremas de manipuladores robóticos. R. Gonzales Fdez. Víctor. Tomada de:
http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/sistema/morfologia.htm.
- [9] Modelo Dinámico de Manipuladores. Ricardo Castillo. Facultad de Ingeniera Mecatronica. Universidad Militar Nueva Granada. Abril-2011.
- [10] LÓPEZ Abraham. Tornillo sinfín diseño de elementos mecánicos. Tomada de:
<http://es.scribd.com/doc/42584382/Tornillo-Sin-Fin>.
- [11] Imagen de corona-sinfín con ecuación de relación. Tomada de:
<http://tecnologiasselectividad.blogspot.com/2009/07/tornillo-sin-fin-corona.html>.
- [12] BARRIENTOS, Antonio; PEÑÍN, Luis Felipe; BALAGUER, Carlos; ARACIL, Rafael. Fundamentos de Robótica. McGraw-Hill Interamericana de España S.A.U. 1997
- [13] ROJAS V. Jorge, MAHLA A. ingeborg, MUÑOZ C. Gerardo, CASTRO. A. Daniel. Diseño de un robot cartesiano para aplicaciones industriales. Diciembre 2003
- [14] MARTÍNEZ JUÁREZ Raúl. Ingeniería Mecatronica. Universidad Nacional. Lima-Perú Modelado y control dinámico de un manipulador robótico de 3 GDL ("grados de libertad"). junio 2009.
- [15] SANS Wilmer, HERRERA Clemente, OBEDIENTE Luis. Universidad Carabobo. Valencia Venezuela. Diseño de software para la modelación de manipuladores con matlab y simulación 3D con roboworks. Abril 2004.

- [16] Catalogo de Motores. Empresa Crouzet tomado de www.crouzet.com. Valencia-Francia
- [17] MARTINES MEJIA, David Alberto. Interceptor de trayectorias basado en visión artificial. Bogota 2005
- [18] WAINSCHEKER, Ruben. MASSA, José Maria. Procesamiento digital de imágenes. 2011
- [19] MUÑOZ RODRIGUEZ, Patricia. Aplicación del filtro de kalman al seguimiento de objetos en secuencias de imágenes. 2003
- [20] RODRIGUEZ ARAUJO, Jorge. Introduccion a los sistemas de visión artificial. 2009
- [21] EMGU CV. Cross platform. NET wrapper to intel OpenCV image processing library. www.emgu.com
- [22] Bases de datos. Tipos de bases de datos. Tomado de <http://basededatos.over-blog.net/article-tipos-de-bases-de-datos-68319538.html>
- [23] Tipos de bases de datos. Wiki pedía la enciclopedia libre. Tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos#Tipos_de_base_de_datos
- [24] Sergio. Definiciones y términos de robótica. Tomada de: <http://proton.ucting.udg.mx/robotica/r166/r66/r66.htm>

- [25] Lector de Código de barras especificaciones y funciones tomado de: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-401274286-lector-codigo-de-barras-al-mejor-precio-del-mercado-_JM
- [26] Mora Montes, Eduardo. Zorrilla Pantaleón, Marta E. Entresotos Cortés, Joaquín. Iniciacion a las bases de datos con access 2002. Ediciones Días de santos. 2006
- [27] Pascual Sevillano, Maria Ángeles. Propuestas de enseñanza y aprendizaje con bases de datos. Editorial: Red Comunicar. 2006
- [28] Rosa Téllez, Maidel. Bases de datos distribuidas. Editorial Universitaria. 2007
- [29] Silva Luis Ángel. Ingeniero Electrónico. Control visual de robots paralelos. Análisis , desarrollo y aplicación a las plataformas robotenis. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. 2005.
- [30] Barragan Guerrero Diego Orlando. Manual de interfaz grafica de MATLAB. 2008. Tomado de : www.matpic.com.
- [31] Del Campo Daniel. SSI SCHAEFER LTDA. Avenida Arnaldo Biagioli, Brasil. Sistemas de estanterias moviles. tomado de: <http://www.ssi-schaefer.co/almacenaje/estanterias-de-carga-manual/estanterias-moviles.html>
- [32] KM soluciones integradas. Monterrey, N. L. Mexico. Tomado de: <http://kmsoluciones.com/estanteria-y-muebles>