

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Módulo didáctico de Grúa robótica programable para el laboratorio de Mecatrónica del ITM

Julio Pastor Restrepo Zapata

John Fredy García

Darnover Pérez Ospina

Ingeniería Electromecánica

Norma Patricia Guarnizo Cutiva

Juan Sebastián Botero Valencia

Director(es) del trabajo de grado

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2014

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RESUMEN

Se diseñó y fabricó una grúa robótica como módulo didáctico para el laboratorio de Mecatrónica en una estructura fuerte en aluminio y acero inoxidable la cual ofrece siete grados de libertad uno de los cuales hace parte de la grúa y los demás del brazo del sistema robótico, con esto se pretende apoyar al departamento de mecatrónica y electromecánica en la formación de estudiantes con competencias en control y automatización industrial buscando que los estudiantes adquieran experiencia y confianza al utilizar esta clase de sistemas. Gracias a que casi en su totalidad las piezas de la estructura fueron fabricadas por nosotros se logró eliminar mecanismos, reducir costos y facilitar el mantenimiento teniendo como referencia robots industriales de distintas generaciones dentro de los que algunos muestran elementos que perjudican su peso, dificultan la lubricación y el cambio de partes, además de otros factores que han sido corregidos en versiones posteriores logrando grandes cambios y mejoras que se evidencian cuando estos ingresan en procesos industriales.

Se Desarrolla el modelo cinemático de tal manera que puede se evidencie posición y orientación del sistema en base a los desplazamientos y/o rotaciones de los eslabones y el mecanismo empleando el método ofrecido por el estándar Denavit Hartenber con el cual se facilita y reduce el proceso.

Palabras clave: Puente grúa, robótica, modulo didáctico, grúa robótica, posicionamiento, electromecánica, mecatrónica, control, automática, educación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Abstract

It was designed and building a robotic crane as teaching module for the Mechatronics lab of ITM. Strong of aluminum and stainless steel which offers seven degrees of freedom, one of which is part of the crane and the other arm robotic system, with this is support of the department of mechatronics and electromechanical on training students with skills in industrial automation control and looking for students to gain experience and confidence when using this class of systems. Thanks to almost all parts of the structure were fabricated by us will withdraw mechanisms, reduce costs and facilitate maintenance having as robots reference industrialists different generations within some samples elements that damage their weight, impede lubrication and changing parts, and other factors that have been fixed in later versions making great changes and improvements that are evident when they enter in industrial processes.

The kinematic model so that it can position and orientation system based on the displacements and / or rotations of the links and the mechanism is evidenced by the method offered by the Denavit Hartenber standard that facilitates and reduces the process develops.

Keywords: bridge crane, robotic, didactic robot, robotic crane, positioning, electromechanical, mechatronics, industrial control, automatic, education.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por su gran apoyo durante nuestro proceso académico, a Juan Sebastián Botero Valencia y Norma Guarnizo por su apoyo incondicional y asesoría durante este proyecto además al ITM por brindarnos la posibilidad de adquirir los conocimientos respectivos a nuestra ingeniería que nos permitieron también llevar a cabo este proyecto y a Frank Euler Sepúlveda por su apoyo emocional e insistencia durante todo el proceso de este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

ACRÓNIMOS

IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IFR International Federation of Robotic

OEM Original equipment manufacturer

ABB Asea Brown Boveri Ltd.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Contenido

Tabla de figuras	8
1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Generalidades.....	11
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
2 MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Breve Historia del robot industrial.....	17
2.1.1 Robótica en Colombia.....	21
2.1.2 Trabajos similares	22
2.1.3 Estadísticas	22
2.2 Conceptos introductorios.....	25
2.2.1 Robots	25
2.2.2 Robot industrial.....	26
2.2.3 Robot Cartesiano.....	28
2.2.4 Puente grúa	29
2.3 Sistema Mecánico	30
2.3.1 Elementos de fijación.....	30
2.3.2 Elementos mecánicos.....	31
2.4 Actuadores Eléctricos	33
Motor Eléctrico	33
Motor pasó a paso.....	33
Principio de funcionamiento del motor pasó a paso	34
Servomotor	35
2.5 Cinemática del Robot.....	35
2.5.1 Matrices de rotación.....	35
2.5.2 Transformadas homogéneas.....	36
2.5.3 Estándar Denavit Hartenberg	36

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

3	METODOLOGÍA	39
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1	Cinemática del robot	48
4.1.1	Verificación En Matlab del modelo cinemático	48
4.2	Construcción del Sistema robótico	50
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	55
5.1	Conclusiones.....	55
5.2	Recomendaciones y Trabajo Futuro	55
6	Bibliografía	57

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Tabla de figuras

Figura 1. Grúa transportadora de carrocería.	12
figura 2. Robots articulados en el sector automotriz.	12
figura 3. Grúa robótica de gran tamaño	13
figura 4. Diagrama del sistema robótico.....	16
figura 5. Primer robot industrial.	17
figura 6. Robot versatran.....	17
figura 7. Robot famulus.	18
figura 8. Primer brazo robótico manipulado por un mini ordenador.....	18
figura 9. Motoman I10.....	18
figura 10. Robot puma	19
figura 11. Robot fanuc.	20
figura 12. Robot de la serie ax almeiga de otc daihen.....	20
figura 13. Robot vigilante.....	21
figura 14. Figura 34. Robot limpiador de piscinas.....	21
figura 15. Estimación de crecimiento de robots industriales entre el 2014 y el 2017	24
figura 16. Balance de la operación prevista de robots industriales desde el 2012 hasta el 2017	24
figura 17. Arquitectura de robots.....	25
figura 18. Grúa robótica.....	25
figura 19. Desplazamientos generales del robot industrial	26
figura 20. Estimación de envíos anuales de robots industriales	27
figura 21. Estimación del suministro de robots industriales entre el año 2011 y el 2013	27
figura 22. Robot cartesiano.	28
figura 23. Puente grúa.....	29
figura 24. Elementos básicos de puente grúa.....	29
figura 25. Tornillo.....	30
figura 26. Pie amigo.	30
figura 27. Prisionero.	31
figura 28. Husillo.....	31
figura 29. Grados de libertad de la chumacera	32
figura 30. Chumacera	32
figura 31. Riel	32
figura 32. Ejemplo de motor eléctrico.....	33
figura 33. . Motor pasó a paso.....	33
figura 34. Rotor de motor pasó a paso.....	34
figura 35. Servomotor	35
figura 36. Denavit hartenberg.....	37
figura 37. Coordenadas del robot.....	37
figura 38. Perfil empleado en la fabricación de la grúa robótica.	39
figura 39. Corte axial del perfil acotado.....	39
figura 40. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.....	40
figura 41. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.....	40
figura 42. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.....	41
figura 43. Estructura de soporte y área de trabajo de la grúa robótica.	41
figura 44. Estructura de soporte y área de trabajo de la grúa robótica acotada.....	42

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

figura 45. Riel de aluminio, base para el desplazamiento del eje x y corte axial de riel acotado.....	43
figura 46. Rodamiento de nylon empleado para el apoyo de la grúa robótica y el desplazamiento en el eje x, acotado	43
figura 47. Eje soporte del rodamiento de nylon.....	43
figura 48. Eje soporte del rodamiento de nylon acotado.....	44
figura 49. Lamina de fijación de rodamientos para el desplazamiento en el eje x acotada.	44
figura 50. Ensamble sección de rodamiento.	44
figura 51. Ensamble carro de desplazamiento para eje x.	45
figura 52. Pie amigo.	45
figura 53. Pie amigo acotado.	46
figura 54. Fijación de estructura y área de trabajo.	46
figura 55. Estructura ensamblada con eje x completo.	47
figura 56. Estructura ensamblada con eje x completo.	47
figura 57. Perfil y pie amigo empleados en la estructura.	50
figura 58. Medición del pie amigo.	50
figura 59. Alineación a 90 de grados de perfil y pie amigo.	50
figura 60. Estructura ensamblada con el riel de la grúa robótica.	51
figura 61. Carro que desplaza el sistema sobre el riel.	51
figura 62. Fijación de la segunda articulación con el actuador acoplado.	52
figura 63. Unión con cadena de husillos para el desplazamiento del primer grado de libertad del sistema robótico.	52
figura 64. Soporte para el brazo y segundo grado de libertad.....	53
figura 65. Tubo cuadrado empleado para fabricar el brazo del robot.	53
figura 66. Brazo del sistema robótico.	54
figura 67. Segundo grado de libertad del sistema robótico.	54
figura 68. Sistema robótico completo.	54

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1 INTRODUCCIÓN

La Robótica es de gran utilidad tanto en la vida cotidiana de las personas como a nivel industrial, porque de esta manera se facilitan las tareas a realizar como son trabajos de precisión o peligrosos. En introducción a la robótica (Kumar, 2010) dice que “ El tema de la robótica es relevante en el plan de estudios de ingeniería hoy en día debido a la capacidad de los robots para realizar trabajos incesantes y peligrosos”, por este motivo surge la necesidad de apoyar al Departamento de Mecatrónica y Electromecánica del Instituto Tecnológico Metropolitano con un módulo programable que consta de un puente grúa robótico diseñado a escala, con el cual se podrán realizar prácticas experimentales que involucre la manipulación, programación y control del mismo.

En (kyungmo, et al, 2008) se evidencia la automatización de una grúa empleada para la construcción de edificios de gran altura logrando reducir costos de producción y reducción de tiempos de trabajo, (Sawodny, Aschemann, & Lahres, sciencedirect, 2002,) enseña como las grúas robóticas pueden ser utilizadas en diversos mercados gracias a su infinidad de aplicaciones, (ning, yongchun, & xianqing, 2nd March 2014) muestra como un sistema de control no lineal mejora el comportamiento de la oscilación respecto al movimiento de un puente grúa.

La primera sección de este trabajo muestra las herramientas conceptuales y define diversos elementos necesarios para comprender y contextualizar este trabajo, la segunda sección muestra brevemente la historia de la robótica y estado del arte de esta, la tercer sección de este trabajo habla sobre el cómo se busca cumplir cada objetivo específico para llegar a la fabricación del módulo didáctico de la manera deseada y la cuarta sección muestra el resultado final del proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1.1 Generalidades

Se ofrece un módulo didáctico programable con el que se pretende fortalecer los laboratorios del ITM, especialmente los relacionados con los programas del Departamento de Mecatrónica y Electromecánica. Este módulo consta de un puente grúa robótica, diseñado a escala, con el cual se podrán realizar prácticas experimentales que involucren la manipulación, programación y control del mismo.



Ilustración 1. Robot articulado con posible aplicación como grúa robótica.
<http://img.logismarket.es/ip/winkel-sistemas-lineales-eje-de-desplazamiento-7o-eje-para-robots-con-brazo-articulado-eje-robot-lateral-363481-FGR.jpg>

Particularmente este módulo estará ubicado en el laboratorio de Maquinas eléctricas del ITM sede robleado, su implementación se logra gracias a la integración y adecuación tecnológica para el control de una grúa a escala, cuyo objetivo es apoyar la formación de profesionales en el campo de la mecatrónica y la electromecánica especialmente en las áreas de mecánica, programación, electrónica y automatización industrial.

El módulo didáctico es logrado mediante el diseño de una estructura fuerte en aluminio que permite un desplazamiento en un volumen de 0.5 m X 0.5 m X 0.5 m, se compone de actuadores electromecánicos, también incorpora sistemas electrónicos con los que se logra el control en tres dimensiones para la grúa, incluye pilotos, pulsadores y puntos de conexión para que el usuario pueda realizar interfaces entre su dispositivo final de control y el módulo didáctico. La estructura fue diseñada, modelada y fabricada en su totalidad buscando que fuese robusta, resistente, confiable y de fácil manipulación.

La robótica en el sector automotriz ha sido de gran importancia tanto a nivel de fabricación como al momento de brindar confiabilidad y correcto ensamble de sus partes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 1. Grúa transportadora de carrocería. Making of Maserati Quattroporte with Bowers & Wilkins. https://www.youtube.com/watch?v=G-TLTO_gnuk



Figura 2. Robots articulados en el sector automotriz. Making of Maserati Quattroporte with Bowers & Wilkins. https://www.youtube.com/watch?v=G-TLTO_gNuk Figura 3.

Los robots articulados han revolucionado la industria automotriz al brindar la capacidad de fabricar en serie vehículos de manera más precisa y óptima, debido a que realizan rápidamente, y sin riesgo, los procesos de ensamble, de soldadura, de traslación y adecuación de partes en el montaje, además cada vez más investigaciones logran que los robots articulados tengan infinidad de aplicaciones, tanto en función de actuadores, como en función de monitoreo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Otro ejemplo de la importancia de este tipo de robots en las industria es el de una grúa robótica gigante empleada en la construcción de hélices para generadores eólicos, con este gigante se logró reducir tiempos de mecanizado, y se evitan tediosos métodos de fabricación que implican ahorro de dinero y menor desgaste del personal que construye los generadores, su empresa fabricante BERMAQ la presenta como un fresadora CNC capaz de maquinado piezas largas y grandes que puede realizar varias tareas al tiempo maquinando aluminios, resinas, poliestireno y fibras para la industria aeronáutica, automotriz, naval, de ruptura y fabricación de moldes (bermaq, 2014).



Figura 3. Grúa robótica de gran tamaño. <http://www.bermaq.ro/Old/en/products/1527/1650>.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1.2 Justificación

Debido a la necesidad de apoyar la formación de profesionales con conceptos sólidos en control automático y competencias ingenieriles que les permita analizar, diseñar y crear procesos de automatización, se pretende dar al estudiante la posibilidad de interactuar y aplicar los conocimientos adquiridos durante sus estudios, en un proceso tangible donde pueda apreciar el resultado de utilizar adecuadamente tecnologías para automatizar procesos industriales, teniendo en cuenta la capacidad de utilizar su lógica de control y los métodos de programación para lograr emplear correctamente estos procesos, se ofrece un módulo didáctico que permitirá controlar de manera didáctica una grúa robótica que puede ser programada con los diferentes tipos de control y su respectivo software de programación cuando éste es necesario. Gracias a la flexibilidad respecto a los posibles controladores de la grúa robótica, esta no se entregará con ningún dispositivo de control, sino que se entregará con puntos de conexiones rápidas para que se pueda programar con dispositivos de los cuales dispongan los estudiantes o con los dispositivos con los que cuentan los laboratorios del ITM como PLC, PLD, FPGA, sistemas arduino, microcontroladores y demás dispositivos de control.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar una grúa robótica a escala, adecuada como modulo didáctico para el laboratorio de Mecatrónica del ITM-Sede Robledo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el modelo mecánico en tres dimensiones del módulo didáctico mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computador CAD.
- Definir los elementos del sistema mecánico propuesto en el modelo, en función de su robustez y fácil adaptación a diferentes interfaces y tecnologías existentes en el mercado.
- Construir la estructura mecánica del módulo didáctico y, a través de sus elementos, documentar sus características técnicas, describir su modelo cinemático y verificar sus rangos de operación.

2 MARCO TEÓRICO

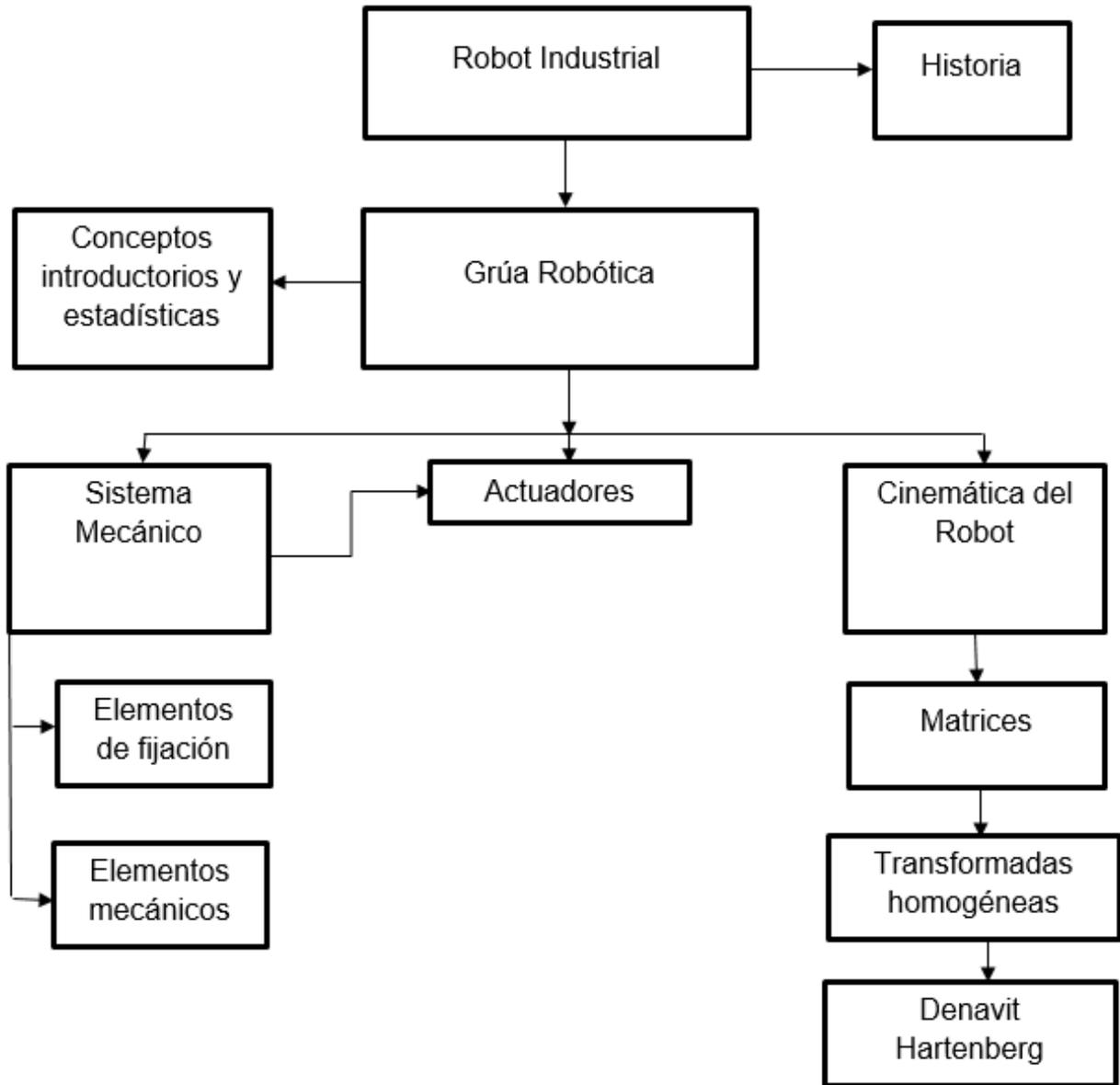


Figura 4. Diagrama del sistema robótico

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Este proyecto busca diseñar y desarrollar un sistema robótico de 7 grados de libertad, el cual cumplirá su función como modulo didáctico para la comunidad ITM, brindado la posibilidad de controlar este con distintas tecnologías existentes en el mercado.

2.1 Breve Historia del robot industrial

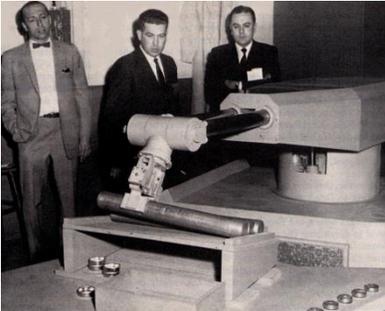


Figura 5. Primer Robot industrial.
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/george-devol-a-life-devoted-to-invention-and-robots>

En la década de los 50 George Devol dictamino el termino universal de automatización, diseño el primer robot programable y en conjunto con el ingeniero Joseph Engelberger crearon la primer compañía de robots del mundo (Robotworx, 2010)

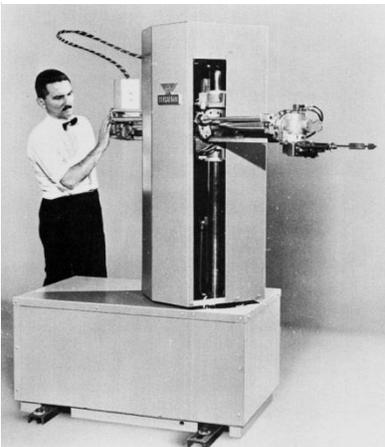


Figura 6. Robot Versatran.
<http://cyberneticzoo.com/tag/versatran/>

En los 60 la corporación Condec compra Unimation y comienza con el desarrollo de sistemas robóticos, AMF inicia la comercialización de un robot llamado versatran, Se inicia la producción en masa del primer robot industrial el cual se empleaba para procesos de soldadura y extracción de piezas fundidas (Robotworx, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

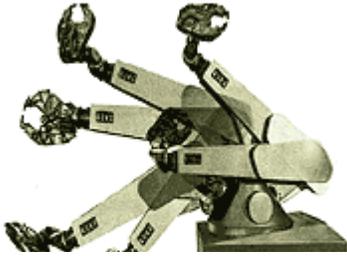


Figura 7. Robot Famulus.
<http://www.kuka-robotics.com/en/company/group/milestones/1973.htm>

A principio de la década de los 70 la empresa de robótica alemana, KUKA, crea el primer robot industrial con seis ejes impulsados electromecánicamente, Se llama el Famulus (Robotworx, 2010)



Figura 8. Primer brazo robótico manipulado por un mini ordenador.
<http://robotssystem.ir/en/history/history/index.htm>

A mediados de los 70 según (Robotworx, 2010) Un brazo robótico realiza pequeñas partes de montajes utilizando la retroalimentación de sensores táctiles y de presión. El Profesor Scheinman, el desarrollador de la Stanford Arm, forma para comercializar una versión del brazo para aplicaciones industriales, los robots industriales se los desarrollaba e instalaban en Fanuc, el Dr. Inaba, presidente de FANUC fue

recompensado con "el sexto Premio Memorial Anual de Joseph Marie Jacquard" por la Sociedad Americana de Carolina del Norte. La producción y venta de servomotores de corriente continua se iniciaron bajo Gettys MANUFACTURING CO., INC



Figura 9. Motoman L10.
<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1110/06/news002.html>

Luego, a finales de los 70, según (Robotworx, 2010) El Motoman L10 se introdujo al mercado; este contaba con cinco ejes y una carga de trabajo máxima de 10 kg, lo que incluía la pinza, Pesaba 470kg. Yaskawa introdujo su primer robot al mercado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 10. Robot Puma.
<https://www.robotics.tu-berlin.de/menue/facilities/>

ASEA, una empresa europea robot, ofrece dos tamaños de robots industriales motorizados eléctricos, Ambos robots usan un controlador de microprocesador para la programación y operación. Unimation compra Vicarm Inc. (Robotworx, 2010) y Vicarm, Unimation crea el robot PUMA (programable Máquina Universal de la Asamblea) con el apoyo de General Motors. Muchos laboratorios de investigación siguen utilizando este robot de montaje.

También, al final de la década de los 70 OTC DAIHEN introdujo en Japón la primera generación de robots de soldadura por arco (Robotworx, 2010).

En la década de los 80 la robótica industrial tuvo un rápido crecimiento con nuevos robots entrando al mercado cada mes, (Kanade, 2015) construyo un brazo de accionamiento directo, siendo este el primero en tener motores instalados directamente en las articulaciones del brazo logrando de esta manera que su robot fuera más rápido y preciso que los anteriores, a mediados de esta década OTC DAIHEN se convirtió en el proveedor oficial de OEM de los robots de Miller Electric y este opto por asignar diferentes números de modelo a los robots destinados al mercado de estados unidos de américa, A finales de esta década ASEA, compañía Sueca fundada en 1883 y BBC también Sueca fundada en 1891 crean la empresa ABB Ltd. cuya sede fue ubicada en Zúrich (ABB, 2015), a finales de los 80 se introdujo en el mercado el sistema de control Motoman ERC, el cual es capaz de controlar hasta 12 ejes y nació en estados unidos Nachi Technology inc. (Nachi, 2006)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 11. Robot Fanuc.
http://www.mrplc.com/kb/First-Experience-Fanuc-LR-Mate-200iB-Robot_29.html

En los 90 se introdujo a la industria el sistema de control Motoman MRC, con capacidad de controlar hasta 21 ejes, el cual se podía sincronizar también con los movimientos de otros robots, (Robotworx, 2010), se creó la escuela de robótica FANUC Robotics Corporation y con esta otras corporaciones como FANUC Robotics North América, Inc. y FANUC Robotics Europe GmbH. En esta década, Miller

Electric inicio con la venta de robot y OTC puso en marcha la división de robótica dinámica, ya a mediados de los 90 la empresa Nachi expande su negocio de robótica ofreciendo diversas gamas de productos y para final de la década se introduce al mercado el controlador XRC que permitió el control de hasta 27 ejes y la sincronización de hasta 57 robots (Robotworx, 2010).



Figura 12. Robot de la serie AX almege de OTC DAIHEN.
http://www.industrieanzeiger.de/automation/-/article/12503/28796257/Hybrid-Verfahren-bieten-doppelten-Vorteil/art_co_INS-TANCE_0000/maximized/

La serie Motoman UP introdujo un brazo de robot simple que era más fácilmente accesible para su mantenimiento y reparación. Honda fue fundamental para impulsar el desarrollo, tanto de la serie UP de armas y el control de brazo XRC.

En el 2003 según (Robotworx, 2010) OTC DAIHEN introdujo la serie AX Almega, una línea de soldadura de arco y manipulación robots. Los robots de la serie AX se integran perfectamente con la serie OTC D soldadura fuentes de alimentación para las capacidades avanzadas de control

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.1.1 Robótica en Colombia

En Colombia tanto la industria como la academia ha generado logros en el campo de la robótica gracias a la investigación continua y al talento de sus investigadores, aquí se presenta un par de esos logros:

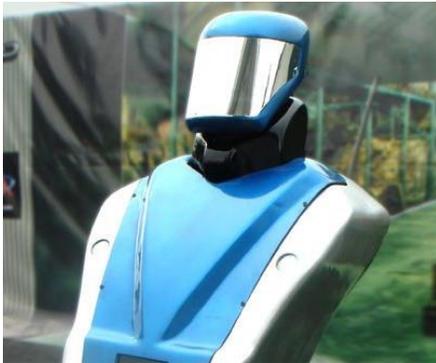


Figura 13. Robot Vigilante.
<http://www.elespectador.com/tecnologia/magen-robot-vigilante>

A1A Visa es una compañía colombiana de seguridad la cual desarrollo un robot denominado Guard (el vigilante) (Montes, 2008), el cual es el resultado de ardua investigación y aplicación tecnológica, los ingenieros encargados del desarrollo de este robot buscaron que este cumpliera con altos estándares y han sido exportados varios de estos a Brasil

El robot Guard tiene 1.6 m de altura y tiene como propósito apoyar la vigilancia de diversas instalaciones, monitoreando pasillos y otros espacios, también cuenta con distintos sistemas de alarmas y sensores fuego, agua, temperatura y otras variables del entorno.

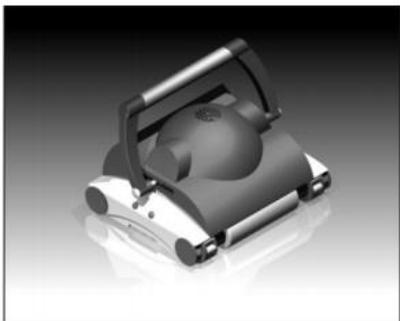


Figura 3. Modelo en 3D del robot Prowler 720, construido en Autodesk Inventor

Figura 14. Figura 34. Robot limpiador de piscinas. Revista Tecnura, 2013/12/20

Como desarrollo puntual, se desarrolló un sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas, con el cual se logra estimar variables como posición, velocidad y orientación (Cardona, Ortiz, & Botero, 2014). Utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados, que combina las medidas de un acelerómetro tri-axial y un giroscopio, logrando con esto y su ecuación diferencial describir el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

comportamiento del robot (Cardona, Ortiz, & Botero, 2014)

Con este robot limpiador de piscinas se buscó automatizar el proceso de limpieza de las piscinas de la liga antioqueña de natación ya que por la cantidad de piscinas con las que cuenta esta liga este trabajo es arduo y tedioso.

2.1.2 Trabajos similares

(kyungmo, et al, 2008) Nos muestra la automatización de una grúa empleada para la construcción de edificios de gran altura logrando reducir factores de riesgo humano, disminuir costos de producción y reducir el tiempo empleado en la construcción de edificios. (Sawodny, Aschemann, & Lahres, sciencedirect, 2002,) Muestra como las grúas robóticas pueden ser utilizadas en un amplio Mercado gracias a sus posibles aplicaciones, interpretando la grúa como un gran espacio de trabajo y el brazo o gancho de la grúa como el actuador. Además el artículo muestra el desarrollo de un puente grúa robótica con un espacio de trabajo de 30 m X 8,7 m X 7 m, (Jacek Olearczyk, 2 July 2014) plantea la importancia de la planificación de rutas y elevación de grúas, especialmente en construcciones congestionadas y con las limitaciones progresivas que pueden verse en la construcción, y como el desplazamiento de las grúas en estas áreas puede ser una tarea peligrosa que puede apoyarse en la automatización de este proceso y (ning, yongchun, & xianqing, 2nd March 2014) muestra que la oscilación de la carga sólo puede ser amortiguada por el carro de movimiento del puente grúa y pretende dar solución a esta oscilación con un sistema de control no lineal mejorando el comportamiento referente a la oscilación respecto al movimiento del puente grúa.

2.1.3 Estadísticas

A nivel mundial a finales del 2013 los robots industriales en operación estaban entre 1.332.000 y 1.600.000 unidades

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

“En 2013, la República de Corea volvió a alcanzar la densidad de robots más alta del mundo. Por 10.000 empleados, 437 robots industriales estaban en funcionamiento. La razón es el gran volumen continuo de las instalaciones de robot en los últimos años. La densidad de robots en Japón se redujo a 323 unidades, y en Alemania siguió aumentando a 282 unidades. Es seguido por Suecia, que en 2013 tenía una densidad de 174 robots por cada 10.000 empleados en la industria manufacturera. La tasa ha aumentado continuamente en los últimos años. Es seguido por Bélgica y Dinamarca, con una densidad de robots de 169 y 166 unidades, respectivamente. Las tasas aumentaron considerablemente en comparación con 2012. La densidad de robots aumentó continuamente en los Estados Unidos a 152 unidades en 2013. Taiwán tuvo un incremento de instalaciones de robots en 2013. La tasa de densidad en España siguió aumentando a 141 unidades. Francia sigue con 125 robots industriales en funcionamiento por cada 10.000 empleados en la industria manufacturera, Finlandia con 122 unidades, Austria con 118 y Canadá con 116 unidades. En Países Bajos, Eslovenia, Eslovaquia, Suiza, Australia, la República Checa y el Reino Unido, las densidades oscilaban entre 93 y 66 unidades. La densidad de robots. Clasificado debajo de la densidad media de robots en todo el mundo (62 unidades en 2013) en los demás países encuestados. Muchos de estos países están surgiendo mercados robot En 2013, la densidad media de robots en las siguientes regiones fue: 82 en Europa, 73 en las Américas y 51 en Asia

El resultado de los dos primeros trimestres del 2014 de la estadística trimestral del IFR mostro un alto crecimiento continuo de dos dígitos, pero se evidencia una dinámica decreciente que puede estimarse de al menos un 15% al menos que la economía mundial mejore, los principales clientes son de la industria automotriz invirtiendo fuertemente en instalaciones de robot industriales pero hay diversos sectores en los que al parecer incrementaran la adquisición de instalaciones robóticas. Se estima que entre 2015 y 2017 las instalaciones de robots industriales aumentaran en promedio un 12% por año, en Asia y Australia un 16%.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

La industria de la robótica global tiene un futuro brillante, industria 4.0 que une la vida real con la realidad virtual, busca modernización en procesos de producción, apoyo hombre máquina y otras tareas” (IFR, 2014)

Table 4.1

Estimated yearly shipments of multipurpose industrial robots in selected countries: Number of units

Country	2012	2013	2014*	2015*	2016*	2017*
America	28.137	30.317	33.700	35.500	38.500	40.000
Brazil	1.645	1.398	2.000	2.300	3.000	3.500
North America (Canada, Mexico, USA)	28.269	28.668	31.500	33.000	35.000	36.000
Other America	223	251	200	200	500	500
Asia/Australia	84.645	98.807	120.000	144.500	165.000	186.000
China	22.987	36.560	50.000	70.000	85.000	100.000
India	1.508	1.917	2.500	3.000	4.000	5.000
Japan	28.680	25.110	28.000	30.000	31.000	32.000
Republic of Korea	19.424	21.307	23.500	24.000	25.000	26.000
Taiwan	3.368	5.457	6.000	6.500	7.500	9.000
Thailand	4.028	3.221	4.200	5.000	6.000	7.000
other Asia/Australia	4.650	5.235	5.800	6.000	6.500	7.000
Europe	41.218	43.284	46.000	47.000	49.000	55.000
Czech Rep.	1.040	1.337	1.800	2.000	2.300	2.600
France	2.956	2.161	2.300	2.400	2.800	2.800
Germany	17.528	18.297	19.500	19.500	20.000	21.000
Italy	4.402	4.701	4.800	5.000	5.200	5.500
Spain	2.005	2.764	3.000	3.500	3.600	3.800
United Kingdom	2.943	2.486	2.500	3.000	3.200	3.500
other Europe	10.344	11.538	12.100	11.600	12.100	15.800
Africa	393	733	800	850	900	1.000
not specified by countries**	4.953	4.991	4.500	5.000	5.500	6.000
Total	159.346	178.132	205.000	232.850	258.900	288.000

Figura 15. Estimación de crecimiento de robots industriales entre el 2014 y el 2017 (IFR, 2014)

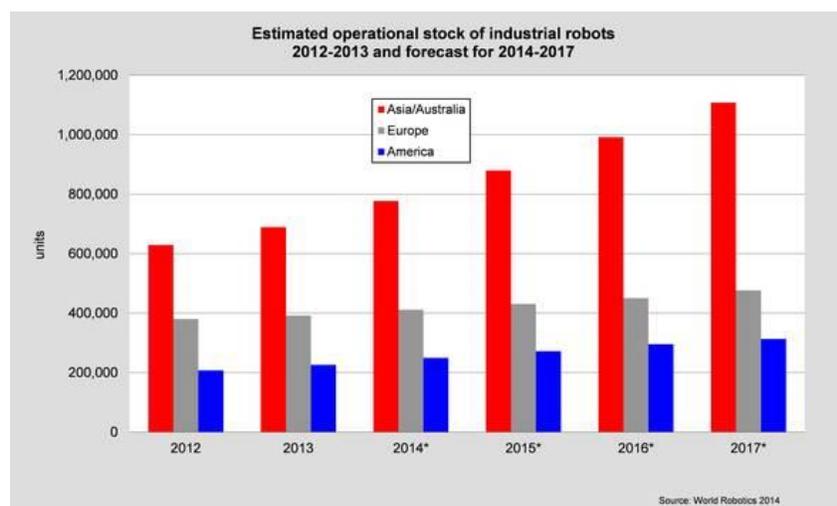


Figura 16. Balance de la operación prevista de robots industriales desde el 2012 hasta el 2017 (IFR, 2014)

2.2 Conceptos introductorios

2.2.1 Robots

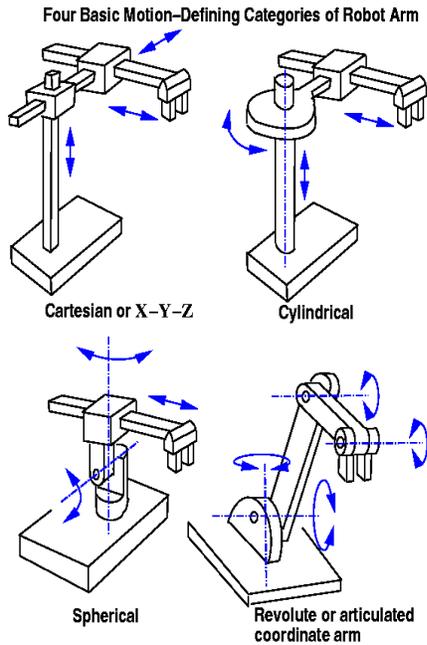


Figura 17. Arquitectura de robots.
http://www.iccrobotics.com/robot_arm.html

El robot se define, según la Organización Internacional Para la Estandarización (ISO) como un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados para el desempeño de tareas diversas y se clasifican con industriales, no industriales o para usos especiales. También lo define como mecanismo programable en dos o más ejes con cierto grado de autonomía en los desplazamientos al realizar tareas previas. ISO aclara también que un robot incluye también su sistema de control. ((OBP), 2012)



Figura 18. Grúa Robótica.
<http://www.citr.auckland.ac.nz>

Los Robots manipuladores son de gran ayuda a la hora de mover o desplazar elementos pesados y pueden controlarse manualmente o hacer que trabajen de forma autónoma.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.2.2 Robot industrial

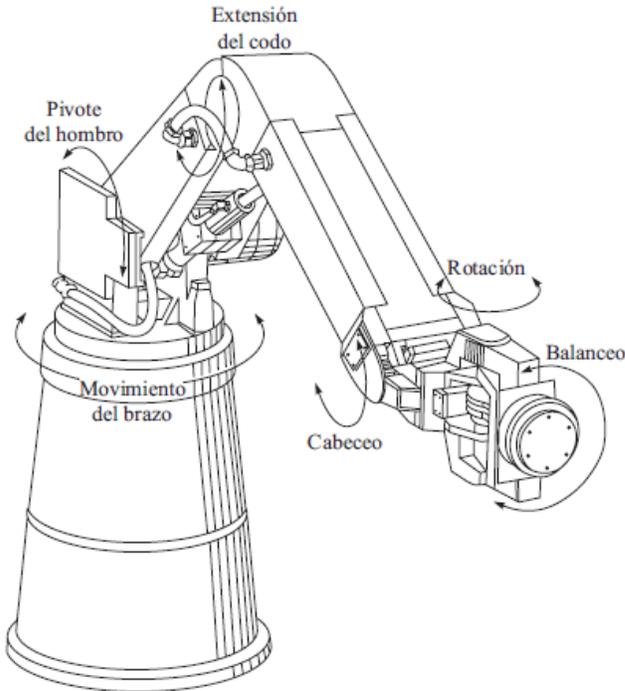


Figura 19. Desplazamientos generales del robot industrial. (Subir, 2008)

Pueden considerarse como los más importantes gracias a su importancia como herramienta clave para la modernización de las empresas entregando alto impacto a nivel de competitividad, productividad, eficiencia y responsabilidad. (Cortes, 2012)

Según la federación internación de Robótica IFR en el 2013 la venta de estos robots se incrementó en un 12% logrando 178.132 unidades, siendo esto el año con más ventas registradas hasta ese momento y estos fueron destinados a industrias como la automotriz, de caucho, de plástico, la industria eléctrica y electrónica. China se convirtió en el mercado más grande de robots en el 2013 con una cuota del 20% y alrededor del 70% de las ventas de robots fueron en Japón, china, estados unidos, corea y Alemania (IFR, 2014).

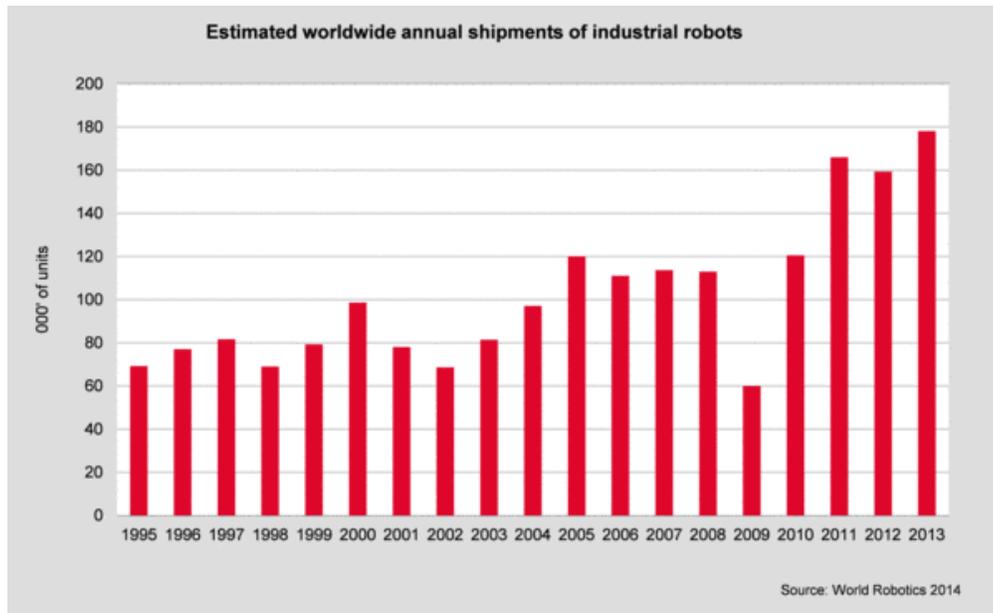


Figura 20. Estimación de envíos anuales de robots industriales (IFR, 2014)

Desde el 2010 la modernización de las fábricas especialmente en estados unidos de américa aumento sustancialmente sus capacidades de producción especialmente en el sector automotriz además el crecimiento en capacidades de producción se evidencio en todos los países que adoptaron esta tecnología como Brasil y Japón

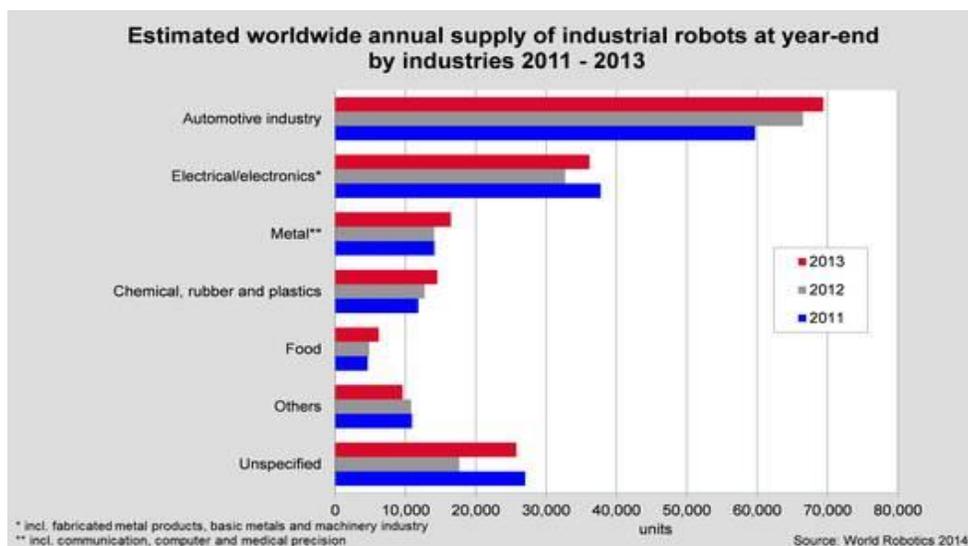
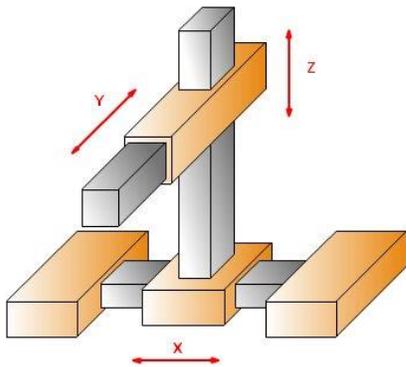


Figura 21. Estimación del suministro de robots industriales entre el año 2011 y el 2013 (IFR, 2014)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

“Los robots manipuladores industriales pueden clasificarse según su aplicación en dos clases. La primera es aquella en la cual el robot se desplaza libremente en su espacio de trabajo realizando movimientos sin interactuar con su medio ambiente. Tareas como pintar y soldar pueden ser realizadas con esta clase de manipuladores. En la segunda categoría, se encuentran aquellos robots destinados a interactuar con su medio ambiente, por ejemplo, aplicando una fuerza sobre este. Esta clase de manipuladores realiza tareas como el pulido o el ensamblado de precisión” (Rafael Kelly, 2003)

2.2.3 Robot Cartesiano



“Cuando el brazo de un robot se mueve de modo rectilíneo, es decir, en las direcciones de las coordenadas x , y , z del sistema de coordenadas cartesianas rectangulares cartesianas diestras. Su espacio de trabajo tiene la forma de una caja o de un prisma rectangular” (Subir, 2008)

Figura 22. Robot cartesiano.
http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.2.4 Puente grúa

El puente grúa es una maquina empleada como elemento de elevación, compuesto por una viga que puede ser o simple o doble, la cual es soportada por dos rieles y tienen como actuador final algún elemento de sujeción.

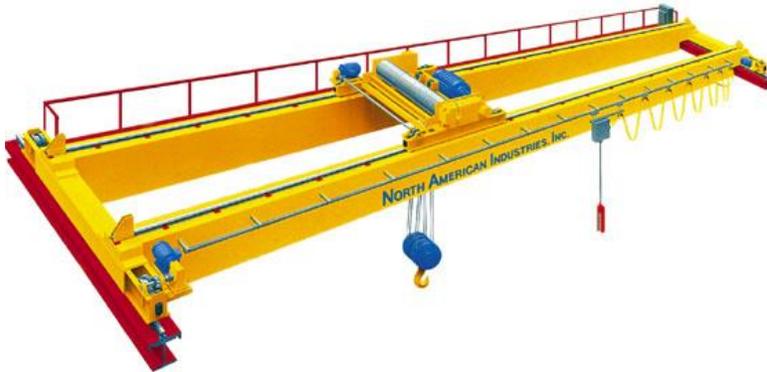


Figura 23. Puente grúa.

<http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/IMAGENES/gruas/puente%20grua%20birrail.jpg>

“El movimiento longitudinal se lleva a cabo mediante la traslación de la viga principal o puente a través de los carriles elevados. En la práctica totalidad de los casos, la rodadura es por ruedas metálicas sobre carriles también metálicos.

El movimiento transversal se realiza mediante el desplazamiento de un polipasto o carro sobre uno o dos carriles dispuestos sobre la viga principal.” (Salamanca, s.f.)

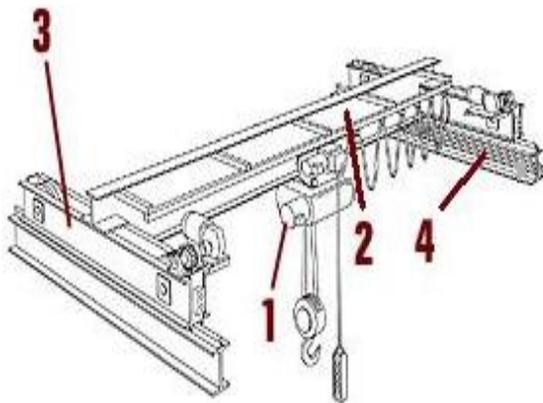


Figura 24. Elementos básicos de puente grúa.

<http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/IMAGENES/gruas/partes%20grua%20portico.jpg>

La utilización de grúas automatizadas se ha hecho importante en procesos de fabricación y transporte de elemento pesados, por lo que la aplicación de robots grúa tienen en el mercado muchas posibles aplicaciones que se pueden desarrollar y la idea principal es interpretar la grúa robótica como un gran espacio de trabajo de trabajo donde el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

gancho de esta es el actuador” (Sawodny, Aschemann, & Lahres, sciencedirect, 2002,)

2.3 Sistema Mecánico

Un sistema mecánico es un conjunto de elementos, dispositivos y/o piezas que logran transformar un tipo de energía en otra, en este caso, se busca convertir energía eléctrica en mecánica de tal manera que un conjunto de eslabones unidos entre sí por motores paso a paso y unidos a una grúa, trabajen como un sistema robótico capaz de posicionar un efector final en un punto en el espacio dentro de su área de trabajo.

2.3.1 Elementos de fijación

Tornillo:



Es un elemento de fijación roscado empleado en diversas aplicaciones, a nivel industrial tiene distintas aplicaciones y fabricado en distintas presentación para que se adecue a diversas necesidad.

Figura 25. Tornillo.
http://i01.i.aliimg.com/img/pb/915/599/332/332599915_753.jpg

Pie amigo:



Elemento que permite una fijación a 90 grados empleado para realizar distintos soportes, en este trabajo, se utilizó para armar la estructura que soporta todo el sistema.

Figura 26. Pie amigo. Imagen del autor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Prisionero:



Es una pieza metálica de sujeción, de fuste recto estriado, que no necesita una tuerca. También llamado tornillo de cabeza, tornillo de presión. Se empleó para dar fijación de los eslabones y motores paso a paso (DA&C, 2015).

Figura 27.
Prisionero.
<http://www.asadetornillos.com.ar/imagenes/bulones/toamn.jpg>

Acople:



Conjunto de piezas utilizadas para unir dos o más elementos mecánicamente, en este proyecto se utilizaron para unir los motores paso a paso a los eslabones de brazo robótico.

Ilustración 2. Tornillo prisionero.
http://www.dimexar.com.ar/Automatizacion/IMAGES/MOT_PASO_A_PASO/ACOPLES/acople4.jpg

2.3.2 Elementos mecánicos

Husillo:



Es un tornillo muy largo con relación a su diámetro y es comúnmente utilizada para generar desplazamientos lineales del elemento que fijen físicamente a su tuerca. Suelen ser utilizados en máquinas como tornos, fresadoras y otras máquinas herramientas

Figura 28. Husillo.
<http://www.hepcomotion.com/es/bsp-husillos-premier-pg-14-get-422>



Figura 29. Chumacera.
<http://www.rodasur.com/chumacera-10.html>

Chumacera:

Es una pieza empleada para fijar un eje y para que este rote libremente.

“las chumaceras han de transmitir una fuerza R en una dirección perpendicular a su eje. Ciertas chumaceras pueden transmitir pequeños momentos respecto a ejes perpendiculares al eje del árbol.

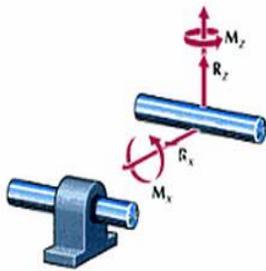


Figura 30. Grados de libertad de la chumacera. (F. riley & D. Sturges, 1996)

Ahora bien, con parejas de chumaceras debidamente alineadas, en condiciones normales de funcionamiento solo se transmiten fuerzas perpendiculares al eje del árbol. Por tanto, en el diagrama de solido libre la acción de la chumacera se representa mediante las componentes de la fuerza R_x y R_z y los momentos M_x y M_z cuando el eje de la chumacera coincide con el eje y ” (F. riley & D. Sturges, 1996)

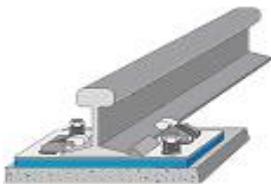


Figura 31. Riel.
<http://www.railarea.com/img/fotos/productos/riel.jpg>

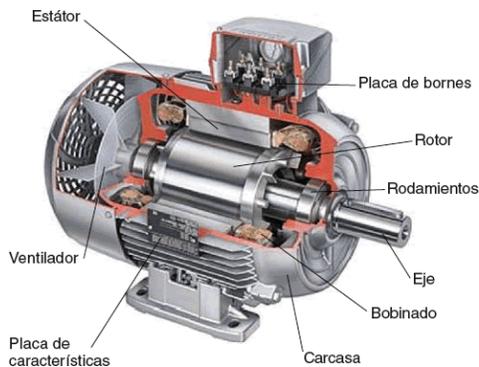
Riel:

Es una barra metálica con una geometría que permite que algo se desplace a través de esta y ampliamente utilizada a nivel industrial para maquinaria y en transporte como vías férreas.

2.4 Actuadores Eléctricos

Según (UCLM, 2014) se denominan actuadores eléctricos a robots cuya ejecución de movimientos es realizada gracias al uso de energía eléctrica, estos no requieren de tanta velocidad ni potencia como robots con sistemas hidráulicos o neumáticos, pero tienen la capacidad de trabajar con mayor precisión. También se denomina actuador a dispositivos electromecánicos como el motor ya que con este se pueden realizar diversas tareas dentro de un proceso.

Motor Eléctrico:



Es una máquina capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica.

Existen diversos tipos de motores eléctricos que varían por su construcción física y se utilizan dependiendo de la necesidad en el proceso a aplicar.

Figura 32. Ejemplo de Motor eléctrico.
<https://glennhomej.wordpress.com/2014/07/21/alargar-la-vida-util-del-motor-electrico-o-bomba-de-agua/>

Motor pasó a paso:



Figura 33. . Motor Pasó a Paso.
http://mavielektronik.com.tr/urunler_SmartStep_199.html

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° (Pena, 2013)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Principio de funcionamiento del motor pasó a paso:

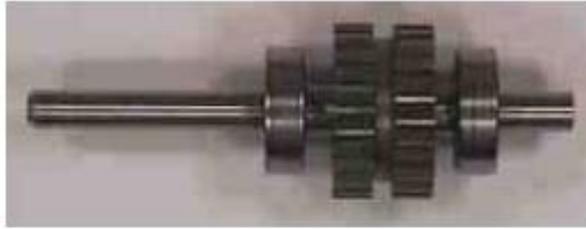


Imagen del rotor

Figura 34. Rotor de motor pasó a paso.

<http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>

Según (Pena, 2013), básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

Bipolar: Estos tiene generalmente cuatro cables de salida (ver figura 1). Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. En la figura 3 podemos apreciar un ejemplo de control de estos motores mediante el uso de un puente en H (H-Bridge). Como se aprecia, será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Pasó a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges.

Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su Conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar (Pena, 2013)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Servomotor:

Es conocido también como servo es un aparato muy parecido a un motor DC, el servo tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Esto lo hace gracias a un sistema de control, que trae de manera interna que consta de un potenciómetro y una tarjeta de comparación. Los servomotores tienen la capacidad de ser controlados en posición y velocidad (Tdrobotica, 2014)

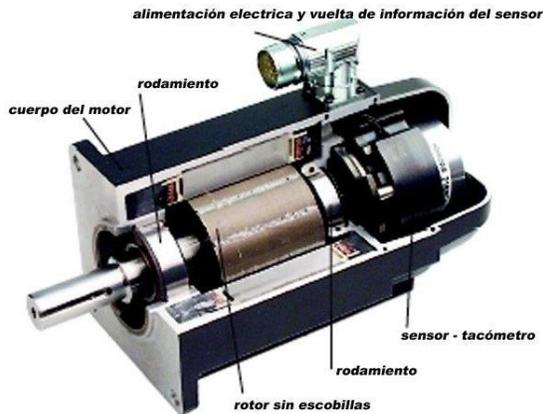


Figura 35. Servomotor. <http://www.castor.es/servomotor.html>

2.5 Cinemática del Robot

Según (Angulo, 2000) en robótica, la cinemateca se dedica al análisis y a solucionar problemas derivados del posicionamiento de los elementos del manipulador.

2.5.1 Matrices de rotación

Las matrices de rotación se emplean para ubicar la orientación de un sistema coordinado respecto a otro, para esto, se utilizan las coordenadas del segundo sistema empleando vectores unitarios en la dirección de los ejes del primer sistema coordinado (Torres, Pomares, Gil, Puente, & Aracil, 2002)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

$$M_{rot^0} = [x_O^M * Y_O^M * Z_O^M] = \begin{bmatrix} X & X & X \\ x_O^M & Y_O^M & Z_O^M \\ Y & Y & Y \\ x_O^M & Y_O^M & Z_O^M \\ Z & Z & Z \\ x_O^M & Y_O^M & Z_O^M \end{bmatrix}$$

2.5.2 Transformadas homogéneas

La transformación homogénea permite por medio de matrices resolver diferentes problemas gráficos (Cortes, 2012). La matriz homogénea tiene dimensiones 4 X 4 se compone de cuatro sub matrices:

$$T = \begin{bmatrix} rotacion & traslacion \\ perspectiva & escalado \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ X & X \\ 1 & 1 \\ X & X \end{bmatrix}$$

Debido a que en robótica se trabaja con posiciones y orientación reales en el espacio tridimensional (Cortés, 2008), la perspectiva y el escalado no tienen importancia, por lo que la matriz quedara así:

$$T = \begin{bmatrix} rotacion & traslacion \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ X & X \\ 1 & 1 \\ X & X \end{bmatrix}$$

2.5.3 Estándar Denavit Hartenberg

Un robot que se compone de n+1 eslabones unidos de manera consecutiva por n articulaciones de un grado de libertad cada 1 (Cortes, 2012), este método se utiliza para describir la posición de los eslabones en el espacio gracias a determinados parámetros de forma simple.

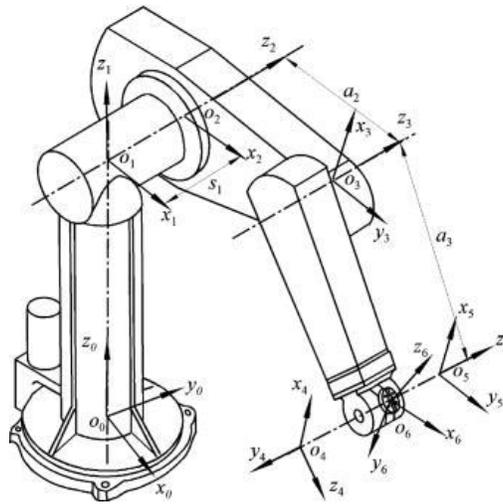


Figura 36. denavit hartenberg.
<http://mechanicaldesign.asmedigitalcollection.asme.org/data/Journals/JMDEDB/27745/015301j.2.jpeg>

El estándar Denavit Hartenberg es un procedimiento que permite describir cinemáticamente una cadena articulada donde cada articulación tiene solo un grado de libertad.

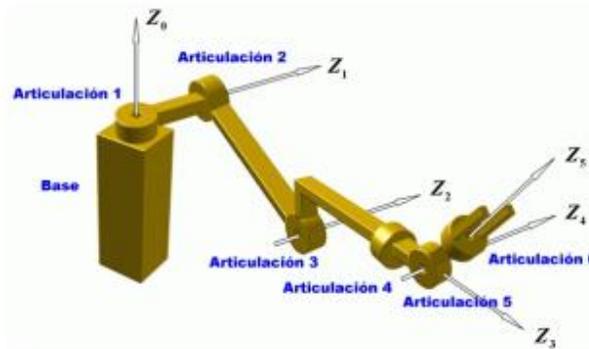


Figura 37. Coordenadas del robot.
<http://mechanicaldesign.asmedigitalcollection.asme.org/data/Journals/JMDEDB/27745/015301j.2.jpeg>

(Torres, Pomares, Gil, Puente, & Aracil, 2002) Muestra cómo resolver el problema cinemático con este estándar indicando y definiendo cada variable necesaria para llegar a la matriz de transformación final.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Con esto, logramos obtener la descripción del desplazamiento y/o rotación de cada articulación respecto a su articulación anterior

	Tipo de articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Prismática	0	d_1	0	0
2	rotacional	90	q_2	l_2	0
3	rotacional	q_3	0	l_3	0
4	rotacional	$q_4 + 90$	0	0	90
5	rotacional	$q_5 - 90$	l_5	0	-90
6	rotacional	q_6	0	0	90
7	rotacional	q_7	l_7	0	0

Luego de obtener estos datos se procede a realizar la transformación homogénea de cada articulación y para concretar el modelo cinemático, se realiza la transformada homogénea total para lograr describir posición y orientación del actuador final.

3 METODOLOGÍA

Desde que se generó la idea de realizar un módulo didáctico se evidenciaron varios puntos a tener en cuenta tanto en diseño y programación como en garantizar la prolongación del apoyo de esta máquina en el tiempo por lo que para esta grúa programable a escala y su interacción como módulo de trabajo se pretende realizar de forma tal que su programación quede a disposición de cualquier persona con la capacidad de utilizarlo.

Para denotar el área de trabajo y como soporte estructural se utiliza un perfil de aluminio con el cual formamos un cubo para obtener un área de aplicación de 0.5m x 0.5m x 0.5m

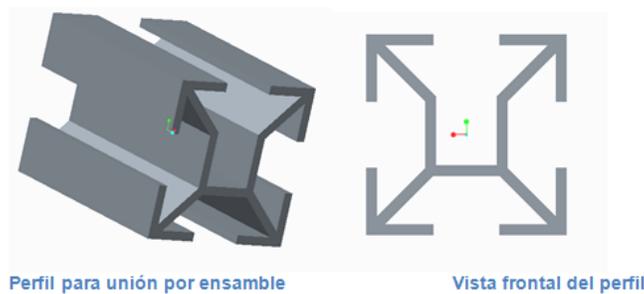


Figura 38. Perfil empleado en la fabricación de la grúa robótica.

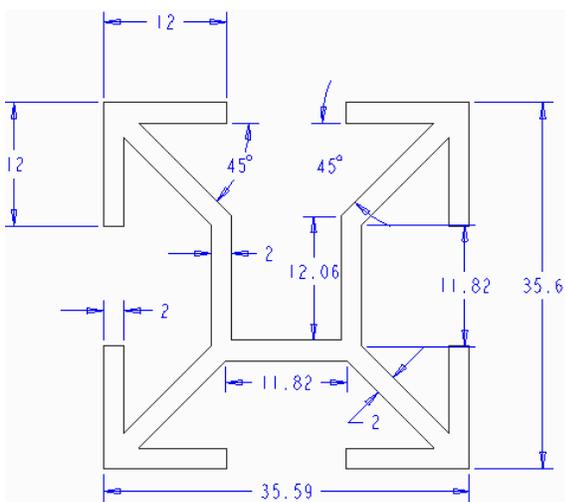


Figura 39. Corte axial del perfil acotado.

La grúa robótica programable se diseñó y modeló en creo 2.0, por lo que todas las imágenes de esta son obtenidas de este programa.

El perfil con el que se ensambla la grúa robótica en toda la estructura es el mismo, pero cambia su longitud dependiendo de su ubicación en la estructura logrando 2 longitudes diferentes, 654 mm y 724 mm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Con el perfil ya cortado con las medidas especificadas anteriormente se construye el cubo, aquí algunas imágenes del proceso:

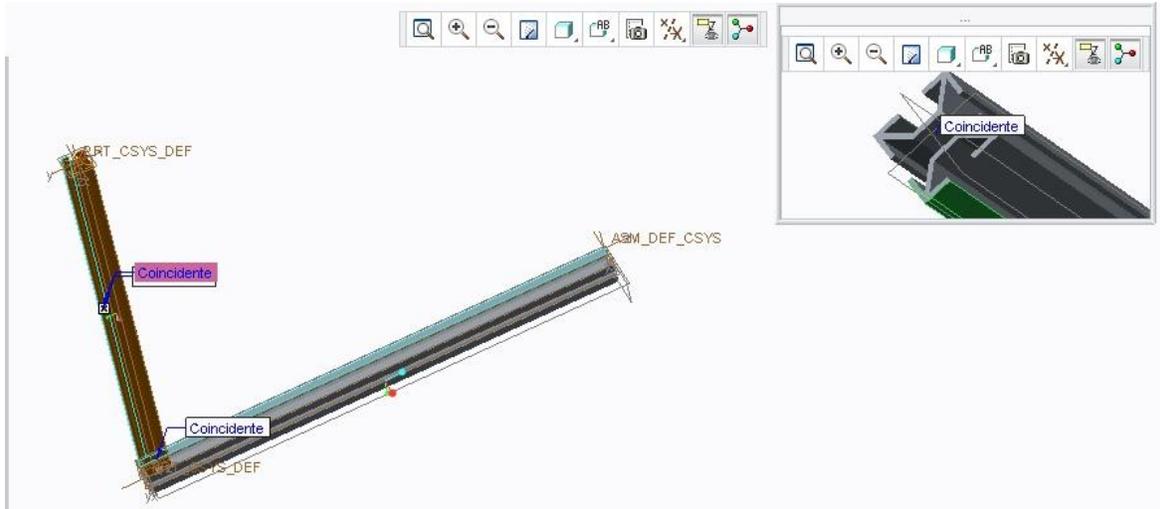


Figura 40. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.

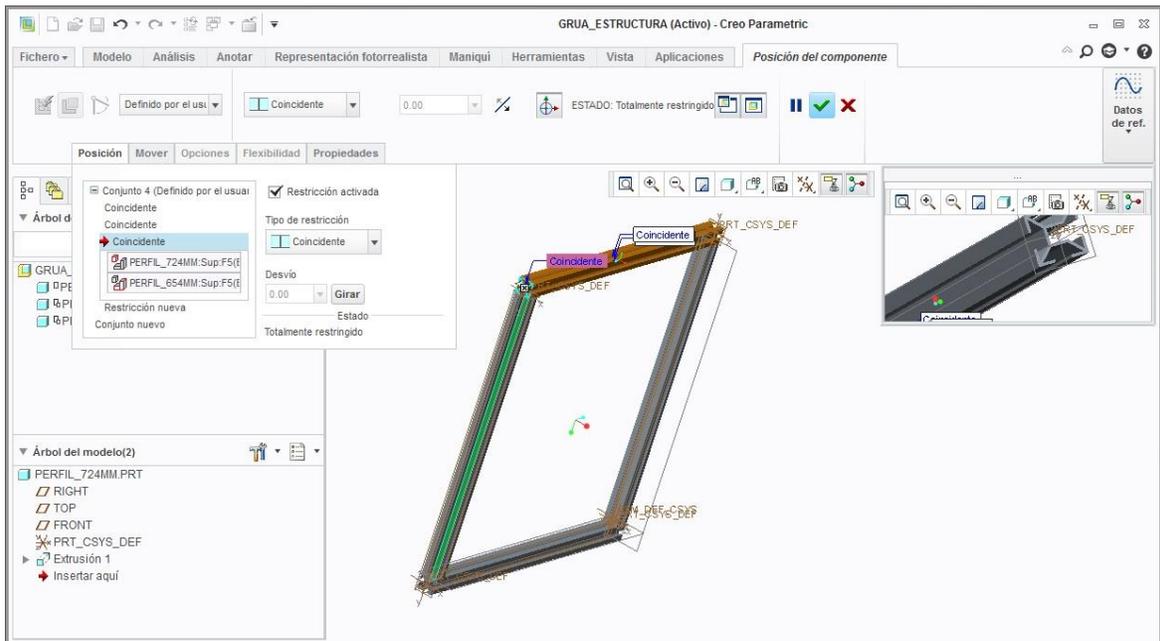


Figura 41. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.

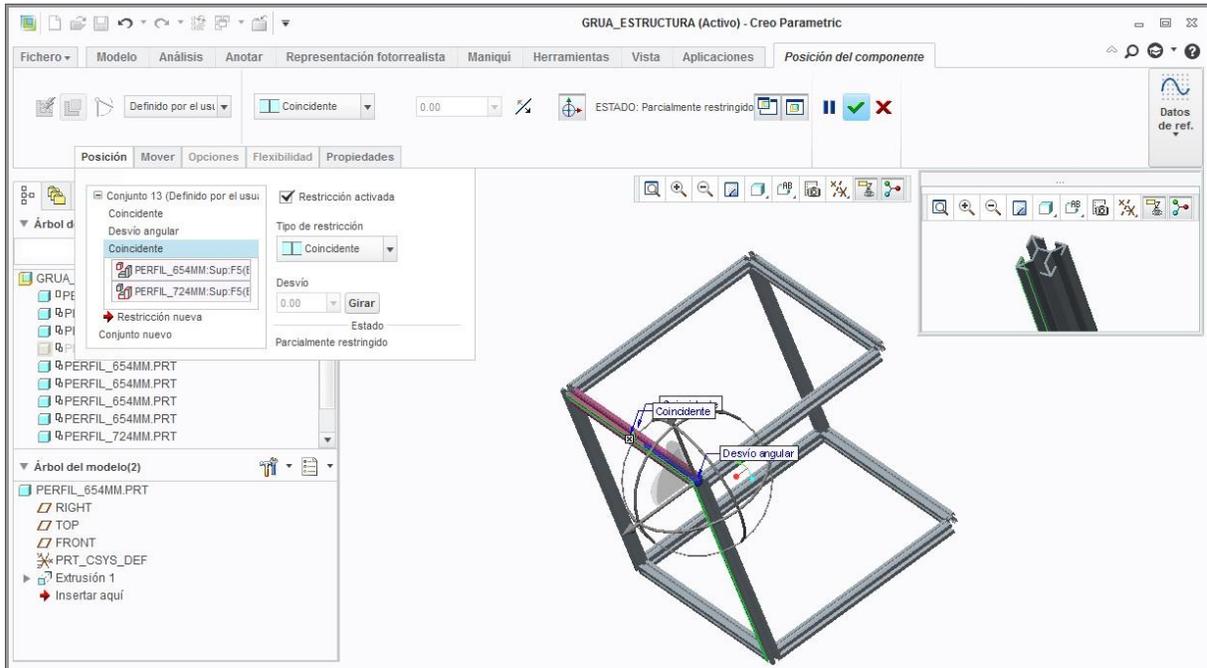


Figura 42. Sección de ensamble de estructura y área de trabajo.

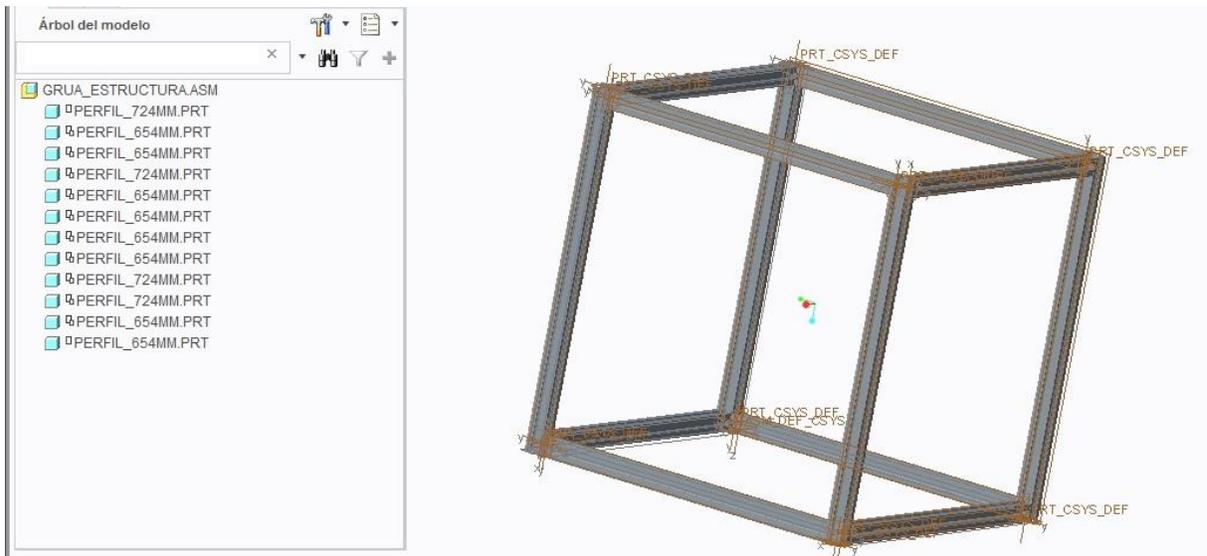


Figura 43. Estructura de soporte y área de trabajo de la grúa robótica. .

El cubo es soportado por un conjunto de pie amigos y tornillos, los cuales le dan gran rigidez y no se muestran aun en el modelo para mostrar el simplemente su estructura de soporte y área de trabajo.

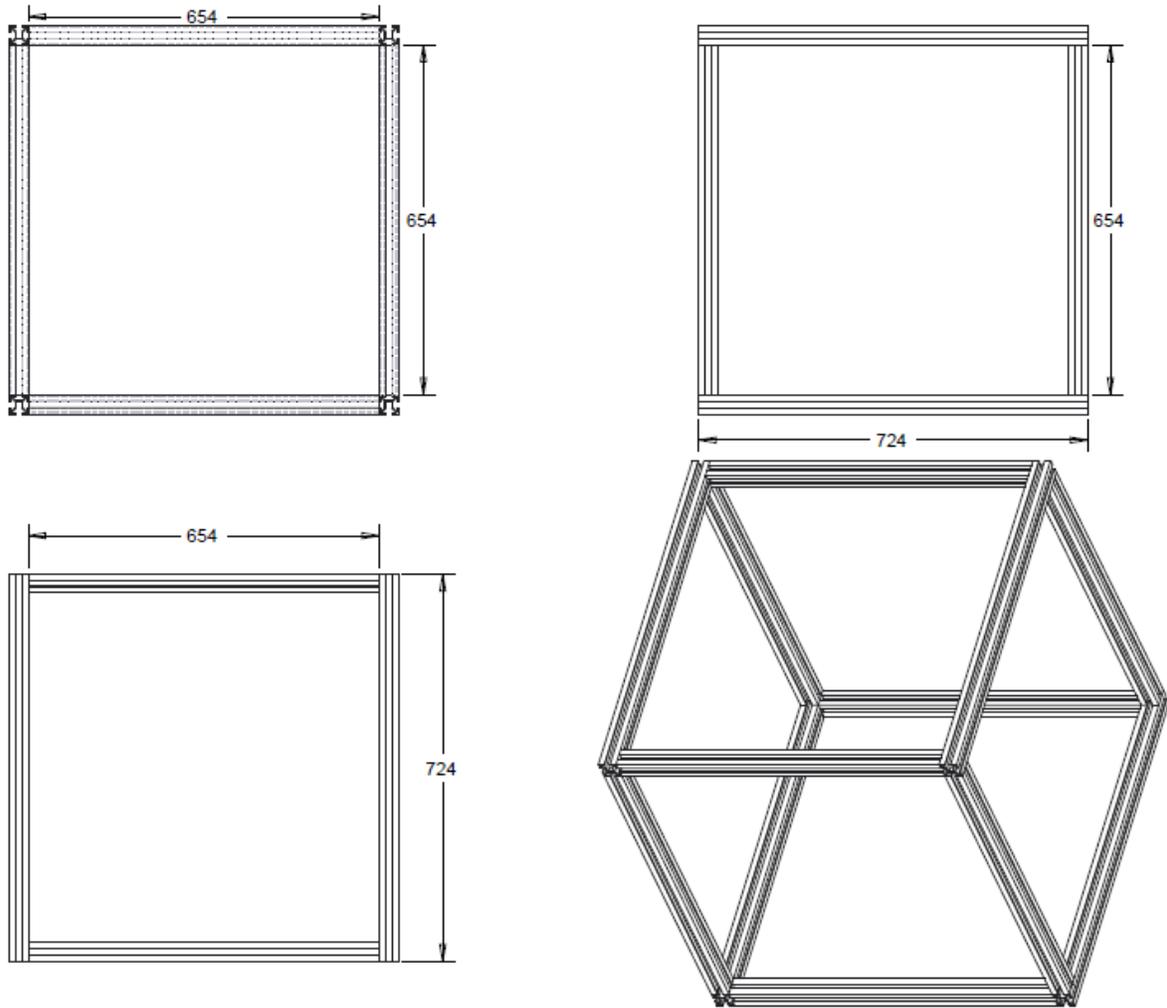


Figura 44. Estructura de soporte y área de trabajo de la grúa robótica acotada.

Luego de tener listo el soporte y el área de trabajo se procede a diseñar el sistema de desplazamiento del eje X que quedo ubicado en la parte superior de la estructura, para esto utilizamos también dos rieles que se sujetan por tornillos al soporte. Estos rieles no fueron fabricados por nosotros, sino que fueron comprados a una empresa dedicada a la fabricación y montaje de ascensores.

Los rieles empleados para el desplazamiento del eje X tienen una longitud de 724 mm ya que necesita de una sección de estos para sujetarlos a la estructura.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 45. Riel de aluminio, base para el desplazamiento del eje X y corte axial de riel acotado.

Luego, para que la grúa se desplace por estos rieles de aluminio, diseñamos un carro con rodamientos de nylon que no solo desplazan la grúa sino que restringen grados de libertad a la grúa para que esta sea más segura y no se descarrile con facilidad.

El eje X consta de dos de estos carros y a continuación se muestra cada pieza de dichos carros:

Rodamiento de nylon: cada carro tiene cuatro de estos rodamientos

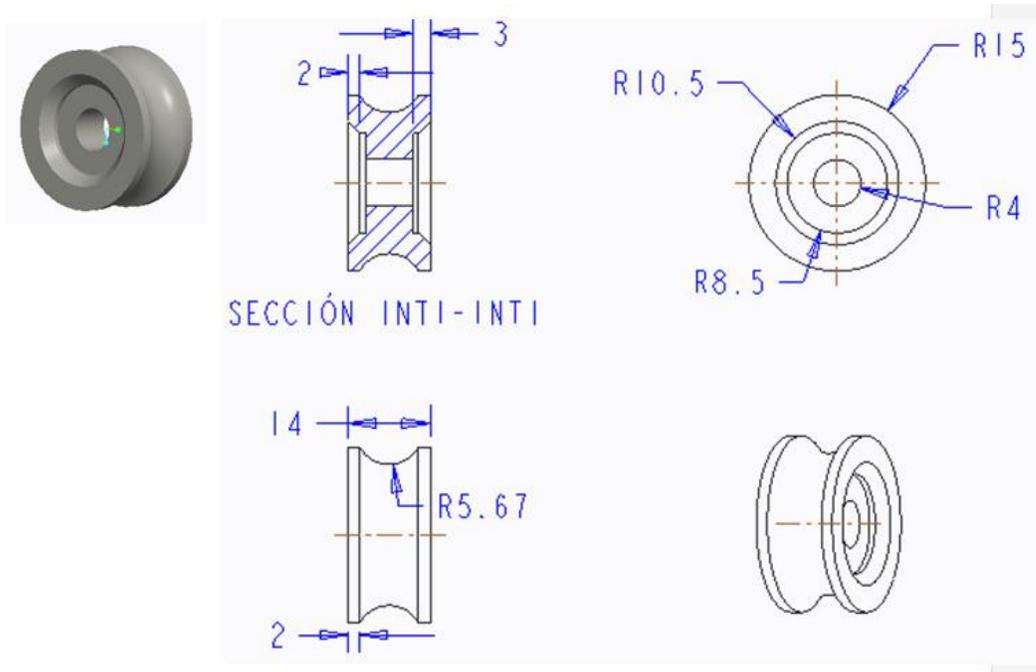


Figura 46. Rodamiento de nylon empleado para el apoyo de la grúa robótica y el desplazamiento en el eje X, acotado.

Cada rodamiento de silicona va unido a un eje y restringido por un pin candado:

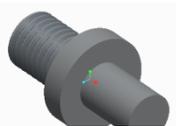


Figura 47. Eje soporte del rodamiento de nylon.

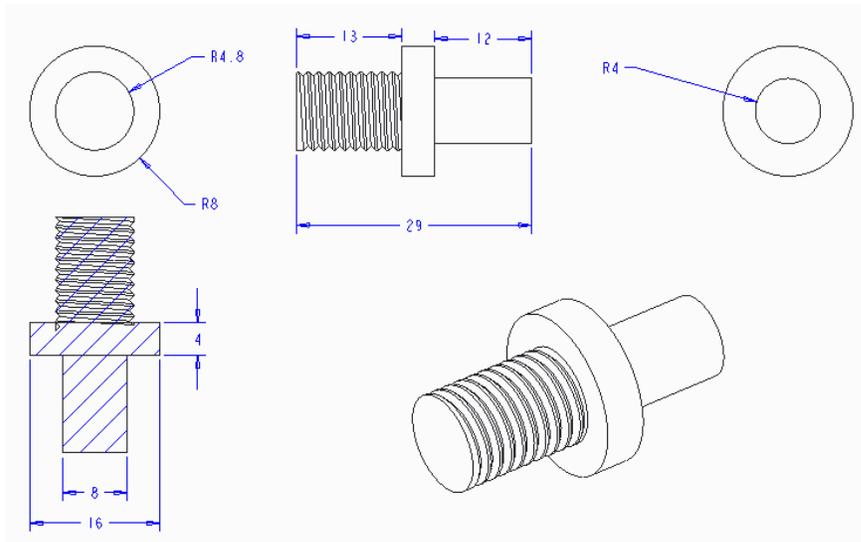


Figura 48. Eje soporte del rodamiento de nylon acotado.



Como se mencionó anteriormente, cada carro que desplaza la grúa por el eje X tiene cuatro de estos y una lámina de acero inoxidable al cual van fijados por tornillo.

Figura 50. Ensamble sección de rodamiento.

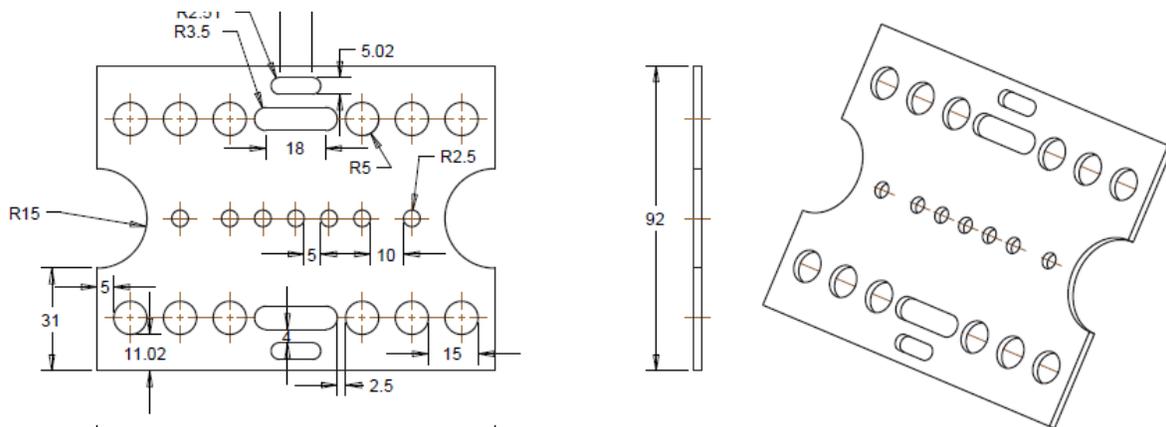


Figura 49. Lámina de fijación de rodamientos para el desplazamiento en el eje X acotada.

Este es el carro que soporta la grúa y le permite el desplazamiento lineal en el eje X, está fijado a la grúa por pie amigos.

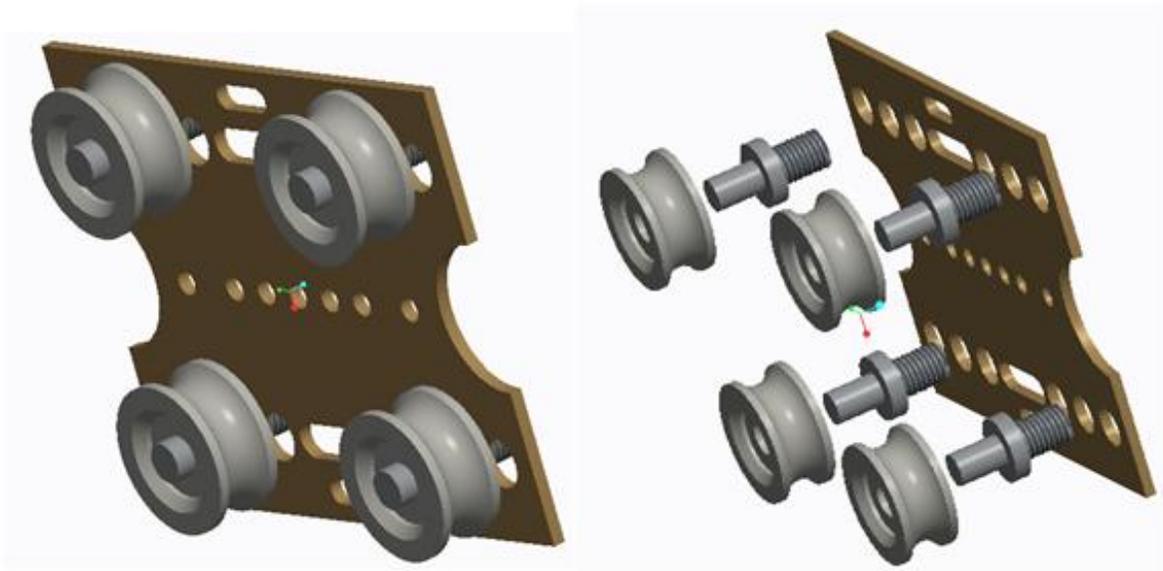


Figura 51. Ensamble carro de desplazamiento para eje X.



El pie amigo utilizado para las fijaciones de la estructura de soporte y el área de trabajo fue diseñado por nosotros y fabricado en acero inoxidable.

Figura 52. Pie amigo.

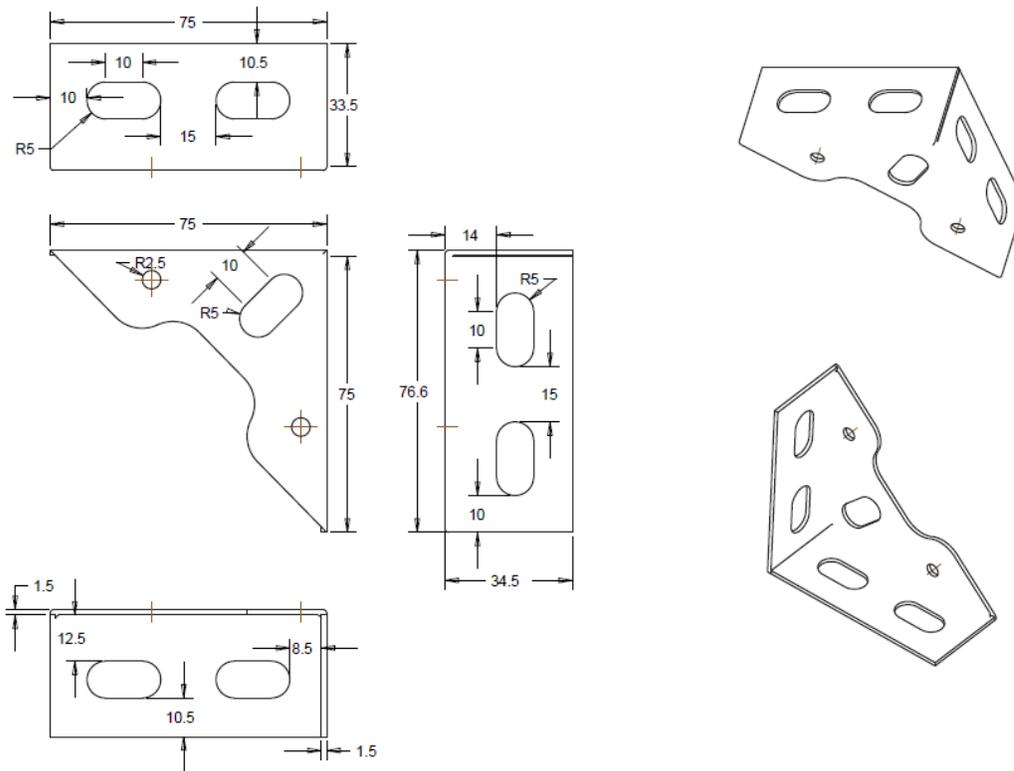


Figura 53. Pie amigo acotado.

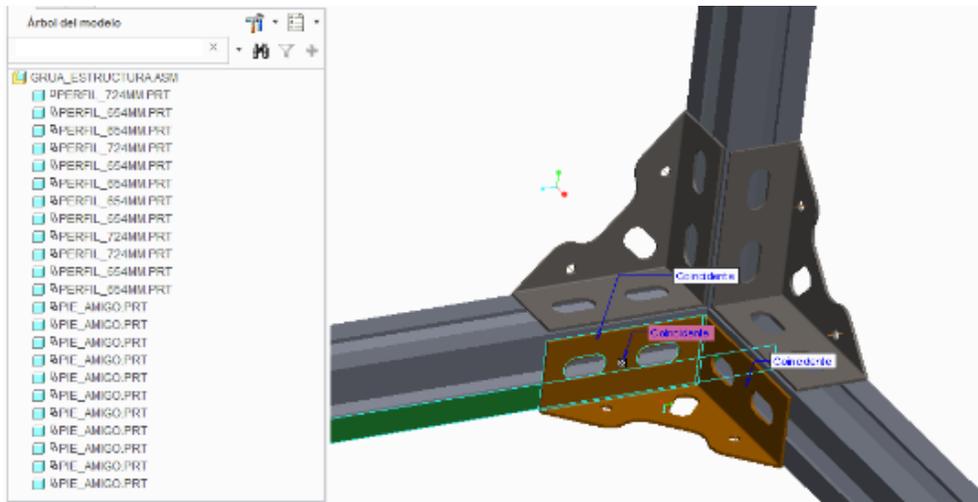


Figura 54. Fijación de estructura y área de trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 55. Estructura ensamblada con eje X completo.

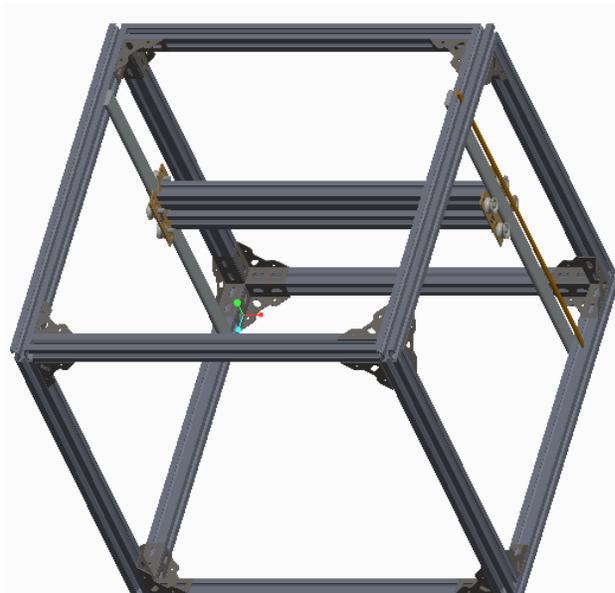


Figura 56. Estructura ensamblada con eje X completo.

Al terminar la construcción del área de trabajo y el eje de desplazamiento X, procedemos a la construcción del brazo que se acoplara en el centro del eje de desplazamiento fabricado, teniendo en cuenta que este debe tener la capacidad de llegar a cualquier punto del área de trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cinemática del robot

Se realiza la transformación homogénea total la cual expresara la posición y orientación del punto final del robot respecto al sistema de coordenadas de la base con respecto a los parámetros de las articulaciones (Torres, Pomares, Gil, Puente, & Aracil, 2002) y (Barrientos Cruz, 2007)

Posición y orientación del punto final: $T_0^7 = T_0^1 * T_1^2 * T_2^3 * T_3^4 * T_4^5 * T_5^6 * T_6^7$

4.1.1 Verificación En Matlab del modelo cinemático

Se empleó Matlab para verificar el modelo cinemático y para obtener la matriz de transformación homogénea que describe el movimiento del Sistema robótico, utilizando la siguiente función

```
function T=DH(teta,d,a,alfa)
T=[ 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];

% articulacion  Q      d  a  A
% 1             0      d1 0  0
% 2             90     q2 12 0
% 3             q3     0  13 0
% 4             (q4+(pii/2)) 0 0  (pii/2)
% 5             (q5-(pii/2)) 15 0 -(pii/2)
% 6             q6     0  0  (pii/2)
% 7             q7     17 0  0
```

Al ejecutar la función y definir valores simbólicos para cada uno de los elementos de la matriz se puede comprobar la efectividad de la misma con el siguiente código

```
syms q3 q4 q5 q6 q7 q1 q2 12 13 15 17 d1;
t1=DH(0, d1, 0, 0)
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

```

t2=DH(pii/2, q2, 12, 0)
t3=DH(q3, 0, 13, 0)
t4=DH((q4+(pii/2)), 0, 0, (pii/2))
t5=DH ((q5-(pii/2)), 15, 0, -(pii/2))
t6=DH (q6, 0, 0, (pii/2))
t7=DH (q7, 17, 0, 0)
pause
Tfinal=t1*t2*t3*t4*t5*t6*t7

```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.2 Construcción del Sistema robótico



Figura 57. Perfil y pie amigo empleados en la estructura.

Para la construcción del Sistema robótico se modeló en creó parametric 2.0 y se realizó frecuentemente retroalimentación modificando algunos puntos del modelo 3D durante su fabricación. Se fabricó casi todas las

partes del sistema mecánico logrando una estructura robusta y liviana gracias a los materiales de construcción (aluminio y acero inoxidable).

En la ilustración 58 se ven claramente los dos elementos principales de la estructura que soporta todo el sistema tal como se muestra en la metodología.



Figura 58. Medición del pie amigo.

Después de revisado el perfil de aluminio se diseñó, se modeló y se fabricó el pie amigo, con esto se da rigidez a la estructura.



Gracias a que el pie amigo fue diseñado con base al perfil, este con un pequeño margen de tolerancia se ajusta para lograr acoples a 90 grados

Figura 59. Alineación a 90 de grados de perfil y pie amigo.



Figura 60. Estructura ensamblada con el riel de la grúa robótica.

El riel del Sistema robótico se adquirió en una empresa fabricante de ascensores y esta pieza es de aluminio. En la estructura se utilizan 2 como soporte y para direccionar la grúa robótica sobre su primer grado de libertad.



Figura 61. Carro que desplaza el sistema sobre el riel.

El carro soporta el brazo robótico y hace parte del primer grado de libertad del sistema, además este va fijado a cada lado a un husillo con el cual gracias a la rotación de este, el carro se desplaza. En esta sección se realiza también la fijación de la segunda articulación y el Actuador que genera la rotación de esta.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 62. Fijación de la segunda articulación con el actuador acoplado.

Luego de realizar esta fijación se realiza el montaje de sistema que desplazara los husillos



Figura 63. Unión con cadena de husillos para el desplazamiento del primer grado de libertad del Sistema robótico. .

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Luego de terminada esta sección se procede a la retroalimentación del modelo 3D donde se realizan algunos cambios de acuerdo a las mejoras físicas que se realizaron.

Terminado el sistema de soporte y la sección de la grúa se procede a la fabricación de la sección del sistema robótico faltante, para esto se utiliza motores paso a paso como actuadores, elementos de fijación como tornillos y tuercas de seguridad, y tubo cuadrado de aluminio para el cuerpo del brazo.



Figura 64. Soporte para el brazo y segundo grado de libertad



Figura 65. Tubo cuadrado empleado para fabricar el brazo del robot.

Se fabricó el soporte del brazo y la fijación del sistema de rotación primario del mismo, con el cual se pretende brindar el segundo grado de libertad del sistema robótico.



Después de acoplar la sujeción principal del brazo se procede a la fabricación del mismo, para esta sección se tuvo en cuenta parámetros obtenidos de (ABB, 2015) logrando fabricar así el brazo con los cinco grados de libertad faltantes.

Figura 66. Brazo del sistema robótico.

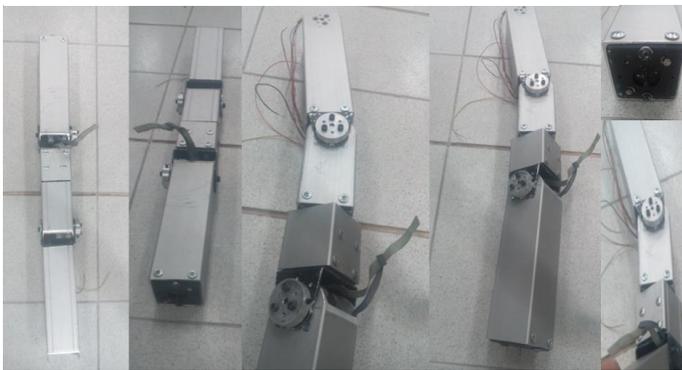


Figura 67. Segundo grado de libertad del sistema robótico.

Luego, se procede al ensamble del brazo, para finalizar la construcción de sistema robótico, teniendo en cuenta las limitaciones físicas del sistema respecto a ángulos de rotación de cada articulación y la longitud de alcance del sistema.



Figura 68. Sistema robótico completo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- Se desarrolló el sistema robótico como modulo didáctico y se entregó al laboratorio de Mecatrónica del ITM teniendo en cuenta todas las especificaciones evidenciadas en este documento mostrando sus virtudes y limitaciones físicas.
- Gracias al diseño del modelo 3D se logró la correcta fabricación del sistema robótico, teniendo en cuenta que en ocasiones se retroalimentó este modelo con modificaciones que surgieron durante la fabricación del mismo.
- Durante el transcurso de este proyecto se fabricaron piezas que dieron rigidez y por su material convirtieron la estructura en un mecanismo robusto pero liviano y por sus motores paso a paso conectados directamente a la interfaz de entrada de señales este sistema es de fácil adaptación a diferentes tecnologías de control en el mercado, como microcontroladores, software especializado como Matlab, labview, entre otros.
- Se realizó el modelo cinemático del sistema robótico que describe tanto su orientación como posición final gracias al estándar Denavit Hartenber
- El sistema robótico podrá ser utilizado para la simulación de procesos industriales como por ejemplo empleándolo como Welding Robot (robot soldador)

5.2 Recomendaciones y Trabajo Futuro

- Debido a que el sistema robótico es un módulo didáctico, este, se puede mejorar agregándole electrónica que permita convertir directamente posicionamiento en información para los motores paso a paso.
- Para mejorar el control y el posicionamiento del sistema robótico puede agregarse encoder, sensores o elementos que permitan referenciar correctamente el sistema

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Como trabajo futuro se recomienda también agregar visión artificial y sensores que amplíen la diversidad de prácticas que pueden desarrollar en este módulo didáctico

- Gracias a la flexibilidad del sistema robótico puede acoplarse a este un actuador más, el cual para lograr su correcto posicionamiento, solo debe incorporarse en la ecuación que describe el modelo cinemático, de tal manera que su respectiva matriz homogénea de orientación y posición sea multiplicada por la T_{final} del sistema con su respectivo orden.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

6 Bibliografía

- ABB. (2015). *ABB Robotics*. Obtenido de Power and productivity for a better world:
<http://www.abb.com/product/ap/seitp327/583a073bb0bb1922c12570c1004d3e6b.aspx>
- Angulo, J. M. (2000). *Robotica Practica*. Paraninfo.
- Barrientos Cruz, A. (2007). *Fundamentos de Robotica*. McGraw Hill.
- bermaq. (2014). *Machinery for patterns*. Obtenido de
<http://www.bermaq.ro/Old/en/products/1527/1650.html>
- Cardona, L., Ortiz, P., & Botero, J. S. (2014). *Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas (Navigation system for a swimming-pool cleaner robot)*. Medellín: Tecnura, vol 18, No 39, pp. 22 - 33.
- Cortes, F. R. (2012). *Robotica, Control de robots manipuladores*. Mexico: Alfaomega.
- Cortés, J. (2008). *La representación Denavit-Hartenberg*. Obtenido de
http://personal.us.es/jcortes/Material/Material_archivos/Articulos%20PDF/RepresentDH.pdf
- DA&C, D. (2015). Obtenido de <http://www.parro.com.ar/definicion-de-tornillo+prisionero>
- electricidad basica. (2013). *fundamentos basicos sobre electricidad*. Obtenido de
<http://www.electricidadbasica.net/amp-vol-fre-fa.htm>
- F. riley, w., & D. Sturges, L. (1996). *Ingeniería mecánica - estática*. I. Reverte.
- Farlex. (s.f.). *the free dictionary*. Obtenido de <http://es.thefreedictionary.com/ciclo>
- Ghang, L., Hong-Hyun , K., Chi-Joo, L., Sung-II , H., Seok-Heon , Y., Hunhee, C., . . . Kyunghwan , K. (November de 2009). *A laser-technology-based lifting-path tracking system for a robotic tower crane*. Recuperado el <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.03.011> de Pages 865-874, ISSN 0926-5805 de Volume 18, Issue 7, de Automation in Construction:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658050900051X>
- Godoy Hernandez, R. d., & Rodriguez Quintero, W. (2007). *Diseño y modelamiento de un robot cartesiano para el posicionamiento de piezas*. Bogota D.C.: Universidad De La Salle.
- IFR, I. F. (2014). *Industrial Robot Statistics*. Obtenido de World Robotics 2014 Industrial Robots:
<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Jacek Olearczyk, A. B.-H. (2 July 2014). *Automating motion trajectory Of crane-lifted loads*. Canada: ScienceDirect.

Kanade, T. (2015). *IEEE*. Obtenido de the institute:
<http://theinstitute.ieee.org/people/profiles/takeo-kanade-partnering-with-robots>

Khoshnevis, B. (2011). *Estados Unidos Patente nº US8029710 B2*.

Kyungmo, J., Baeksuk, C., Kihyeon, B., Yongkwun, L., Deahie, H., Shinsuk, P., & Myo-Taeg, L. (2008). *Development of Automation System for Steel Construction Based on Robotic Crane*. Korea: IEEE.

Montes, Á. (24 de 05 de 2008). *Semana*. Obtenido de Robótica colombiana:
<http://www.semana.com/vida-moderna/articulo/robotica-colombiana/92865-3>

Nachi. (2006). *Nachi technology inc*. Obtenido de <http://nachitech.com/>

Ning, S., Yongchun, F., & Xianqing, W. (2nd March 2014). *An enhanced coupling nonlinear control method for bridge cranes*. China: IEEE - IET Control Theory and Applications.

(OBP), O. B. (2012). *www.iso.org*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

Olearczyk, J., Bouferguène, A., Al-Hussein, M., & Hermann, U. (September de 2014). *Automating motion trajectory Of crane-lifted loads*. Recuperado el <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.06.001> de Pages 178-186, ISSN 0926-5805 de Volume 45, de *Automation in Construction*:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580514001368>

Pena, H. F. (2013). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>

Rafael Kelly, V. S. (2003). *Automatica & robotica, Control de movimiento de Robots Manipuladores*. Madrid: Pearson Educacion S.A.

Real academia española. (2015). <http://lema.rae.es/drae/?val=cuantificar>. Obtenido de <http://www.rae.es/>

robotics), I. (. (2014). *Industrial Robot Statistics. World Robotics 2014 Industrial Robots*. Germany: <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>.

Robotworx. (2010). *A Scott Technology Ltd. Company*. Obtenido de INTEGRATOR OF NEW AND USED ROBOTS FOR INDUSTRIAL AUTOMATION:
<http://www.robots.com/education/industrial-history>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Rodriguez pozueta, M. A. (s.f.). *departamento de ingenieria electrica y electronica*. Obtenido de autotransformadores: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/autotrafos.pdf>

Salamanca, U. d. (s.f.). *El Puente Grua*. Obtenido de Departamento de Ingenieria Mecanica: <http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/puente%20grua.htm>

Sawodny, O., Aschemann, H., & Lahres, S. (december de 2002,). *sciencedirect*. Obtenido de An automated gantry crane as a large workspace robot, Control Engineering practice: [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661\(02\)00097-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661(02)00097-7).

Sawodny, O., Aschemann, H., & Lahres, S. (Volume 10 de December de 2002). *An automated gantry crane as a large workspace robot*. Recuperado el ISSN 0967-0661 de Pages 1323-1338 de [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661\(02\)00097-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0661(02)00097-7), de Control Engineering Practice: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066102000977>

Seippel, R. (1977). *Fundamentos de electricidad. principios de electricidad, electronica, control y ordenadores*. chicago: revert. s.a.

Subir, K. S. (2008). *Introduccion a la robotica*. india: McGRAW-Hill.

Tdrobotica. (2014). *tdrobotica.co*. Obtenido de <http://tienda.tdrobotica.co/categoria/81>

Torres, F., Pomares, J., Gil, P., Puente, S. T., & Aracil, R. (2002). *Automatica y Robotica - Robots y sistemas sensoriales*. Madrid: Prentice Hall.

UCLM. (2014). *Universidad de castilla - la mancha*. Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Electricos.htm>

Wordreference. (2015). *wordrefence*. Obtenido de <http://www.wordreference.com/definicion/ortogonal>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO_ ACEPTADO____ ACEPTADO CON
 MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____