



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA  
APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**

TESIS PRESENTADA POR:  
**Bach. RAFAEL PARI COILA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

JULIACA – PERÚ  
2023



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA**  
**APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**

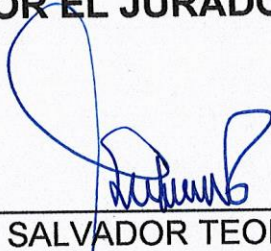
**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RAFAEL PARI COILA**


**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

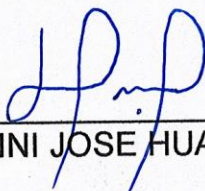
**PRESIDENTE**

  
: \_\_\_\_\_  
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**PRIMER MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Mgtr. GIOVANNI JOSE HUACASI SUO

**ASESOR DE TESIS**

  
: \_\_\_\_\_  
Ing. ABELARDO LEÓN MIRANDA



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1254-2023-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 21 de noviembre de 2023

**VISTOS:**

El **INFORME N° 737-2023-D-UI-FICP.UANCV**, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Ingeniería Mecatrónica, **INFORME N° 011-2023-UANCV-FICP-UI-CI** del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, **RESOLUCIÓN DECANAL N° 743-2021-D-FICP-UANCV** que aprueba el Proyecto de Investigación el **05 de julio de 2021** y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha **14 de noviembre de 2023** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el tema titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **RAFAEL PARI COILA**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) Titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- \* **1er Miembro** : **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**
- \* **2do Miembro** : **Mgr. GIOVANNI JOSE HUACASI SUPO**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 1120-2023, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

Estando, conforme a la **RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV** de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR**, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **RAFAEL PARI COILA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica.

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER**, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al **Ing. ABELARDO LEON MIRANDA**.

**ARTICULO TERCERO.-** La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Mgr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 95531

cc.  
archivo 2023  
interesado (n)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1406-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 18 de diciembre de 2023

VISTOS:

El INFORME N° 046-2023-D-FICP-UANCV-P del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°1254-2023 de fecha 21 de noviembre de 2023 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB; y el trámite solicitado por el Bachiller en RAFAEL PARI COILA y;

CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller: RAFAEL PARI COILA; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

- \* Presidente : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- \* 1er Miembro : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
- \* 2do Miembro : Mgtr. GIOVANNI JOSE HUACASI SUPO
- \* Asesor : Ing. ABELARDO LEON MIRANDA

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO. - APROBAR Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: RAFAEL PARI COILA; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico de acuerdo al siguiente detalle:

- \* FECHA : 20 de diciembre de 2023
- \* HORA : 11:00
- \* LUGAR : Aula 204 - Pabellón Hidráulica

ARTICULO SEGUNDO. - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MITHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

D. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADEMICO  
CIP. 95631

C.c. Arch. 2023  
Interesado  
Escuela Profesional



### Universidad Andina "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

#### RESOLUCIÓN DECANAL N° 1405-2022-D-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de noviembre de 2022

#### VISTOS.-

El OFICIO N° 087-2022-EPIM-UANCV-FP, del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica y el proveído del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, sobre el pedido de cambio de miembro (s) de la sub comisión de evaluación del proyecto de investigación, del Bachiller: **RAFAEL PARI COILA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el tema titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**, y:

#### CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **RAFAEL PARI COILA** ha solicitado cambio del **segundo miembro y asesor** de la terna del sub comité de evaluación del proyecto de investigación titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB** aprobado con la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 743-2021-D-FICP-UANCV** de fecha 05 de julio de 2021; conformado por los siguientes Docentes:

- ❖ **Presidente** : Ing. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- ❖ **1er. Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
- ❖ **2do. Miembro** : M.Sc. JAMES ROLANDO ARREDONDO MAMANI
- ❖ **Asesor** : M.Sc. PAUL HERNANDO MAMANI SANCHEZ

Que: el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica ha tomado conocimiento que el **segundo miembro y asesor** no tiene vínculo laboral con la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, por lo que ha determinado proceder con el sorteo para el cambio de la terna de la sub comisión de evaluación del proyecto de investigación, conforme lo establece el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y:

Estando, a los documentos de VISTOS, mediante el cual informa la designación de la nueva terna de la sub comisión de evaluación; el mismo que deberá actuar según el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del Comité de Investigación de la escuela profesional de Ingeniería Mecatrónica, en concordancia al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTICULO PRIMERO.** - APROBAR, el cambio del **segundo miembro y asesor** de la Terna de la sub comisión de evaluación del proyecto de investigación presentado por el bachiller: **RAFAEL PARI COILA**, titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico quedando la conformación del sub comité de evaluación de la siguiente forma:

- ❖ **Presidente** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- ❖ **1er. Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
- ❖ **2do. Miembro** : Mgtr. GIOVANNI JOSE HUACASI SUPO
- ❖ **Asesor** : Ing. ABELARDO LEON MIRANDA

**ARTICULO SEGUNDO.** - Disponer a los miembros de la sub comisión de evaluación designados dar continuidad al trámite de evaluación y calificación del proyecto de investigación, borrador de trabajo de investigación o sustentación del trabajo de investigación, según sea el caso que se encuentre cada expediente. Quedando válido en sus demás disposiciones la Resolución Decanal de aprobación de proyecto de investigación, que se mencionan en el considerando.

**ARTICULO TERCERO** - RECONOCER como ASESOR DE TESIS al (a la) docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras el (la) Ing. **ABELARDO LEON MIRANDA**.

**ARTICULO CUARTO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el responsable de investigación y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, el Secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 66531

cc: archivo\_2022  
Ejecutante  
r/vrq



### UNIVERSIDAD ANDINA

# "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 743-2021-D-FICP-UANCV

Juliaca, 05 de julio de 2021.

### VISTOS:

El **INFORME N° 505-2021-UI-FICP.UANCV**, del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **OPINIÓN TÉCNICA N° 036-2021-UANCV-FICP-UI-CI** del responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica** y el acta de registro de Proyecto de Investigación según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **16 de junio de 2021**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**, con el tema titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

### CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **RAFAEL PARI COILA**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Ing. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- \* **1er Miembro** : **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**
- \* **2do Miembro** : **M.Sc. JAMES ROLANDO ARREDONDO MAMANI**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**, correspondiente a la línea de investigación: **TECNOLOGIA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

### RESUELVE:

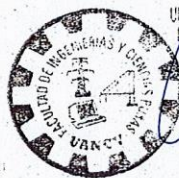
**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **RAFAEL PARI COILA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecatrónico**, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB**.

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al docente contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **M.Sc. PAUL HERNANDO MAMANI SÁNCHEZ**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica**, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA

DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

Mgtr. HERMAN ARTURO PINTO COAQUIRA

SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 86937

CC  
Juliaca, 05/2021  
SECRETARÍA



## ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB

### INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                       | 3%  |
| 2 | <a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet   | 2%  |
| 3 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez<br>Trabajo del estudiante             | 2%  |
| 4 | Submitted to UTEC Universidad de Ingenieria & Tecnologia<br>Trabajo del estudiante             | 1%  |
| 5 | <a href="http://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a><br>Fuente de Internet             | <1% |
| 6 | <a href="http://1library.co">1library.co</a><br>Fuente de Internet                             | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Internacional del Ecuador<br>Trabajo del estudiante                   | <1% |
| 8 | <a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a><br>Fuente de Internet |     |

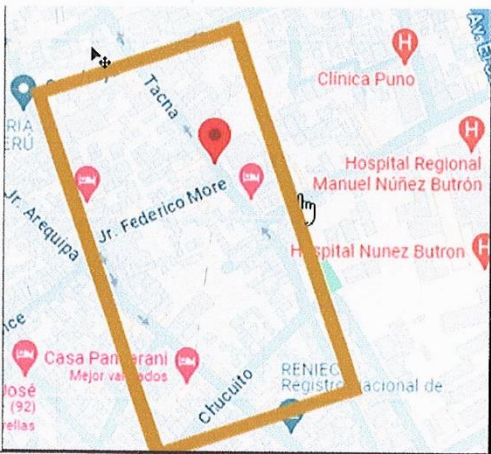


### Metadatos Complementarios..



|   |   |
|---|---|
| <b>Título de la tesis</b>   |   |
| <b>ANALISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMATICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB</b> |   |
| <b>Datos de autor</b>   |   |
| Nombres y apellidos   | Rafael Pari Coila   |
| Tipo de documento de identidad  | DNI   |
| Número de documento de identidad  | 41694411  |
| URL de ORCID  | <a href="https://orcid.org/0009-0001-7499-9633">https://orcid.org/0009-0001-7499-9633</a> |
| <b>Datos de asesor</b>  |   |
| Nombres y apellidos   | Abelardo León Miranda   |
| Tipo de documento de identidad  | DNI   |
| Número de documento de identidad  | 40198643  |
| URL de ORCID  | <a href="https://orcid.org/0000-0001-8370-5660">https://orcid.org/0000-0001-8370-5660</a> |
| <b>Datos del jurado</b>   |   |
| <b>Presidente del jurado</b>  |   |
| Nombres y apellidos   | Salvador Teodoro Valdivia Cardenas  |
| Tipo de documento   | DNI   |
| Número de documento de identidad  | 02383061  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>   |   |
| Nombres y apellidos   | Adwar Ranulfo Sanchez Carreon   |
| Tipo de documento   | DNI   |
| Número de documento de identidad  | 02064066  |
| <b>Miembro del jurado 2</b>   |   |
| Nombres y apellidos   | Giovani Jose Huacasi Supo   |
| Tipo de documento   | DNI   |



|   |  |
|---|--|
| Número de documento de identidad  | 40713810   |
| <b>Datos de investigación</b>   |  |
| Línea de investigación  | <b>Tecnología de la instrumentación - P21</b>  |
| Grupo de investigación  | No aplica.   |
| Agencia de financiamiento   | Sin financiamiento   |
| <b>Ubicación geográfica de la investigación</b>   | <p><b>Edificio:</b> UANCV – SEDE PUNO<br/> <b>País:</b> Perú<br/> <b>Departamento:</b> Puno<br/> <b>Provincia:</b> Puno<br/> <b>Distrito:</b> Puno<br/> Distrito Judicial De Puno</p> <p><b>Coordenadas:</b><br/> <b>Latitud:</b> 15°84'43"S<br/> <b>Longitud:</b> 70°02'73"O</p> <p><b>URL Maps</b><br/> <a href="https://maps.app.goo.gl/dhF7nUQx2ipFmpYM6">https://maps.app.goo.gl/dhF7nUQx2ipFmpYM6</a></p>  |
| <b>Año o rango de años en que se realizó la investigación</b>   | Diciembre 2021- Julio 2023   |
| <b>URL de disciplinas OCDE</b><br><a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a><br>- Librería | <b>Ingeniería Mecatrónica</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00</a><br><br><b>Ingeniería Mecatrónica</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01</a>   |



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RAFAEL PARI COILA, identificado con DNI  
Nro. 41694411 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA MECATRONICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

“ ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA APLICADO AL ROBOT KUKA KRISO POR MATLAB ”

Asesorado por: ING. ABELARDO LEON MIRANDA

Es un tema original.

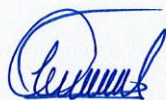
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

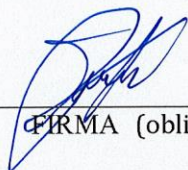
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 09 de ABRIL del 2024



  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A Dios dedico este logro a mis padres a mi hermano a mi pareja que estuvo siempre estuvo con su apoyo incondicional, por estar apoyándome en cumplir con todos mis objetivos.

Dios por darme la bendición de lograr los éxitos, darme salud y muchas alegrías.



## **AGRADECIMIENTO**

A los Ingenieros de Ingeniería Mecatrónica de la UANCV – PUNO, a mis queridos compañeros por la compañía y el apoyo en cumplir con nuestro anhelo de ser Ingeniero Mecatrónico



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA** ..... iii

**AGRADECIMIENTO** .....iv

**ÍNDICE GENERAL** ..... v

**ÍNDICE DE TABLAS** .....viii

**ÍNDICE DE FIGURAS** ..... ix

**RESUMEN** ..... xi

**ABSTRAC**..... xii

**INTRODUCCIÓN** .....xiii

## CAPÍTULO I

### APECTOS GENERALES

1.1. Formulación del problema..... 1

1.2. Planteamiento del problema ..... 2

    1.2.1. Problema general o pregunta general ..... 2

    1.2.2. Problemas específicos o preguntas específicas ..... 2

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 3

    1.3.1. OBJETIVO GENERAL ..... 3

    1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 3

1.4. Justificación de estudio..... 3

1.5. Limitaciones de la Investigación ..... 4

1.6. Hipótesis ..... 4

    1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL ..... 4



|        |   |   |
|--------|---|---|
| 1.6.2. | HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....                   | 4 |
| 1.7.   | VARIABLES.....                              | 4 |
| 1.7.1. | DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE .....  | 4 |
| 1.7.2. | DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LA VARIABLE ..... | 5 |
| 1.7.3. | OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....   | 5 |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.1.    | Antecedentes del estudio .....              | 6  |
| 2.2.    | Bases teóricas .....                        | 7  |
| 2.2.1.  | Mecatrónica y Robótica.....                 | 7  |
| 2.2.2.  | Robot .....                                 | 8  |
| 2.2.3.  | Robótica y sus Objetivos .....              | 8  |
| 2.2.4.  | Robot en la Industria .....                 | 8  |
| 2.2.5.  | Robot en la Industria y sus clases.....     | 9  |
| 2.2.6.  | Morfología de los Manipuladores .....       | 11 |
| 2.2.7.  | Configuraciones Básicas .....               | 13 |
| 2.2.8.  | Transmisiones.....                          | 15 |
| 2.2.9.  | Reductores .....                            | 16 |
| 2.2.10. | Actuadores .....                            | 18 |
| 2.2.11. | Sensores .....                              | 19 |
| 2.2.12. | Efactor .....                               | 20 |
| 2.3.    | CINEMATICA DIRECTA.....                     | 21 |
| 2.3.1.  | Matrices de Transformación Homogéneas ..... | 22 |
| 2.3.2.  | Formación de la Matriz .....                | 23 |



2.3.3. Movimiento ..... 26

2.3.4. Cinemática Directa ..... 28

**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

2.4. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN ..... 33

2.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN..... 33

2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.. 34

**CAPÍTULO IV**

**INGENIERIA DEL PROYECTO**

**CAPÍTULO V**

**PRUEBAS Y RESULTADOS**

5.1. RESULTADOS ..... 57

    5.2.1. MAPEO ..... 57

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 65**

**CONCLUSIONES ..... 65**

**RECOMENDACIONES ..... 66**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 67**

**ANEXO ..... 69**



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 variables .....                                  | 5  |
| Tabla 2:Clasificacion KNASEL.....                        | 11 |
| Tabla 3:Características de la transmisión .....          | 16 |
| Tabla 4:Actuadores y sus características .....           | 19 |
| Tabla 5:Herramientas y su clasificación .....            | 20 |
| Tabla 6:Terminales y sus tipos de accionamiento .....    | 21 |
| Tabla 7:Robot KUKA y sus especificaciones técnicas ..... | 36 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de Robots ..... 12

Figura 2 Manipuladores Básicos..... 15

Figura 3 Sistema Cartesiano..... 23

Figura 4 Matriz de giro sobre el eje "X" ..... 24

Figura 5 Matriz de giro sobre el eje "Y" ..... 25

Figura 6: Matriz de giro sobre el eje Z ..... 25

Figura 7 Sistema Coordinado XYZ - UVW ..... 26

Figura 8 Manipulador y parámetros geométrico ..... 28

Figura 9 Sistemas de coordenadas del manipulador ..... 29

Figura 10 Eje de Movimiento ..... 30

Figura 11 Eje de movimiento de traslación..... 31

Figura 12 Eje de giro en segundo movimiento ..... 31

Figura 13 UANCV - PUNO ..... 33

Figura 14 Robot KUKA..... 35

Figura 15 Dimensiones del Robot KUKA ..... 37

Figura 16 Sistema de referencia del robot..... 38

Figura 17 Modelo de la cinemática del Robot KUKA en Matlab..... 51

Figura 18 Mapeo de la posición de movimiento - KUKA ..... 57

Figura 19 Mapeo de Posición 2 - KUKA ..... 58

Figura 20 GUI - KUKA..... 59

Figura 21 Movimiento KUKA..... 59

Figura 22 Movimientos múltiples del EJE - KUKA ..... 60



|  |    |
|--|----|
| Figura 23 Mapeo de movimiento de eje - KUKA .....            | 60 |
| Figura 24 Movimientos multiples de eje 02 - KUKA .....       | 61 |
| Figura 25 KUKA – ING. MECATRONICA .....                      | 62 |
| Figura 26 Robot KUKA en cinemática directa .....             | 63 |
| Figura 27 Robot KUKA en Laboratorio de Ing Mecatronica ..... | 63 |
| Figura 28 ROBOT KUKA en movimiento eje X.....                | 64 |
| Figura 29 Robot KUKA en movimiento eje Z.....                | 64 |



## RESUMEN

El presente proyecto nos permitirá desarrollar el análisis y modelamiento de la cinemática directa del robot Kuka KR150 empleando el software Matlab. La primera parte del desarrollo del proyecto describe en forma general la identificación del problema, la justificación del problema, identificamos los objetivos generales y específicos, así como también la metodología de investigación. En la segunda parte describiremos los fundamentos teóricos de la robótica en especial el análisis de la cinemática directa del robot KUKA. Finalmente se desarrolla la expresión del análisis del modelamiento de la cinemática directa del Robot KUKA KR150.

**Palabras clave:** Robótica, Cinemática, Modelamiento.



## ABSTRAC

This project will allow us to develop the analysis and modeling of the direct kinematics of the Kuka KR150 robot applying the Matlab software. The first part of the development of the project describes in a general way the identification of the problem, the justification of the problem, we identify the general and specific objectives, as well as the research methodology. In the second part we will describe the theoretical foundations of robotics, especially the analysis of the direct kinematics of the KUKA robot. Finally, the expression of the analysis of the modeling of the direct kinematics of the KUKA KR150 Robot is developed.

**Keywords:** Robotics, Kinematics, Modeling.



## INTRODUCCIÓN

El ser humano tiene la capacidad de movilizarse por cualquier lugar, dependiendo del lugar, las condiciones que este tiene para continuar con su movimiento, un androide que tiene la capacidad de movilizarse debe tener la capacidad de analizar el recorrido al igual que el ser humano y de esto es que se tiene una gran diversidad de tipos de robots que se adecuaran a un determinado ambiente.

Un androide con una capacidad de movimiento de solo un uso de dos extremidades imitando al ser humano con el objetivo de interactuar y desarrollar las diversas tareas en las cuales otras formas robotizadas podrían ser útiles.

En el área Robótica se han desarrollado y se desarrollan a la actualidad grandes avances como es el robot ASIMO de la marca Honda.



## CAPÍTULO I

### APECTOS GENERALES

#### 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La robótica cuenta con tipos de mecanismos y manipuladores paralelos desarrollados por décadas.

El avance de la tecnología exige el desarrollo de los modelamientos se ha conseguido una diversidad de arquitecturas las que son utilizadas en diversas aplicaciones o en todos los campos de nuestra vida. Formando hoy el soporte del desarrollo industrial, los robots ofrecen a una empresa toda una serie de beneficios como son una gran velocidad de respuesta, la gran cantidad de fuerza que estos poseen, la precisión que tienen, la calidad del producto terminado son factores que los convierten como los favoritos en la industria, y que con el transcurso de los años serán cada vez mejores en sus características.

A medida que el robot es más complejo, también su modelamiento matemático es más complicado.

Para el desarrollo del análisis del modelamiento de un robot se utiliza distintos tipos de metodologías así como también metodologías de análisis simplificado. Se utiliza



herramientas matemáticas y modelamientos que son mas precisos utilizando programación especializada.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En aplicaciones muy laboriosas, en zonas difíciles, en tareas que al ser humano le resultan difíciles es que son necesarios la presencia de un robot para que realice estas y otras acciones que pueden ser desde la más simple hasta la más compleja.

Todas estas aplicaciones han dado camino al desarrollo de los manipuladores robóticos, con grandes avances, con máquinas que al logrado una alta precisión, alta calidad, etc en nuestra actualidad. Los Robots industriales son parte de los procesos de ensamble, manufactura y con características del tipo serial, siendo brazos antropomórficos.

En referencia a sus fuerzas inerciales de estos robots de gran tamaño es que se ve afectado la exactitud.

Siendo una alternativa en nuestra actualidad el uso de robots del tipo paralelos, que estando formados por varias cadenas cinemáticas, siendo mas rígidos y con una capacidad de soportar cargas mayores siendo estos de un menor tamaño en comparación a la línea serial. Y con esta línea se ha alcanzado alcanzar exactitud con mayor precisión y mejores velocidades, todo esto conlleva a la aplicación de los robots KUKA.

### 1.2.1. Problema general o pregunta general

¿Es posible Realizar el análisis y modelamiento de la cinemática directa aplicado al robot KUKA KR150 por Matlab?

### 1.2.2. Problemas específicos o preguntas específicas

**Problema Específico 1:**



¿De qué manera se puede Analizar la cinemática directa del robot KUKA KR 150??

### **Problema Específico 2:**

¿Cómo se puede obtener el modelamiento de la cinemática directa del robot KUKA KR150?

### **Problema Específico 3:**

¿Como se puede obtener el modelamiento de la cinemática directa en Matlab del robot KUKA KR 150??

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar el análisis y modelamiento de la cinemática directa aplicado al robot KUKA KR150 por Matlab.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**OE1.-** Analizar la cinemática directa del robot Kuka KR 150.

**OE2.-.** Obtener el modelamiento de la cinemática directa del robot Kuka KR150.

**OE3.-** Obtener el modelamiento de la cinemática directa en Matlab del robot Kuka KR 150.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO**

La problemática más común que el trabajador experimenta con robots, es que el trabajador no conoce todos los parámetros con que cuenta incluido el robot en su comportamiento de la cinemática directa del robot.

Siendo un camino muy utilizado que el usuario desmonte el robot para conocer ciertos parámetros que no están a la vista.



Y al realizar el proceso de desmonte del robot, se pierde la garantía de fábrica del robot.

La problemática principal se presenta en el conocimiento de los parámetros del comportamiento del robot manipulador. La motivación principal del presente trabajo es el de investigar esta problemática y tener un de la cinemática directa del robot KUKA.

## 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Un principal inconveniente es el trabajo en campo con el Robot KUKA debido a los temas administrativos, etc.

## 1.6. HIPÓTESIS

### 1.6.1. Hipótesis General

Es el análisis del modelamiento de la cinemática directa aplicado al robot Kuka KR150 el más óptimo por Matlab.

### 1.6.2. Hipótesis Específica

**HE1.**-Es posible Analizar la cinemática directa del robot Kuka KR 150.

**HE2.**-Si realizo el modelamiento de la cinemática directa del robot Kuka KR150, entonces conseguiré un correcto funcionamiento

**HE3.**- Es el modelamiento de la cinemática directa en Matlab del robot Kuka KR 150 el más óptimo.

## 1.7. VARIABLES

### 1.7.1. Definición conceptual de la variable

- VARIABLE INDEPENDIENTE

Posición del efector final

Orientación del efector final



- VARIABLE DEPENDIENTE

Coordenadas

### 1.7.2. Definición Operacional De La Variable

- VARIABLE INDEPENDIENTE

MODULO DE CONTROL: El diseño se realizara para la generación de del circuito del módulo de control y la programación del micro controlador PIC16F877A para medición de tensión y emisión de señal que activación los relés de acuerdo a la tensión solicitada.

- VARIABLE DEPENDIENTE

CONEXIONADO AUTOMÁTICO DE TENSIÓN AC: La implementación del módulo de control puede realizar el censando constante de las entradas de voltaje AC de (220 – 380)V para salida de 440V con bastante exactitud si las condiciones que controla el cierre o apertura de los contactores de potencia están definidos por los módulos de supervisión de tensión y estos valores visualizan los voltajes de fases de la red trifásica mediante un display LCD.

### 1.7.3. Operacionalización de las variables

*Tabla 1 variables*

| <b>Variable</b> | <b>Dimensiones</b>  | <b>Indicadores</b> |
|-----------------|---|--------------------|
| V.I.            | Posición y orientación del eslabón                        | Coordenadas        |
| V.D.            | <i>Coordenadas en el espacio de ubicación del eslabón</i> | Coordenadas        |



## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En estos mas de 30 años de avance tecnológico dedicado a la robótica aplicada a la industria que han permitido que los robots sean aplicados en todos los procesos productivos de las industrias. (J O. C., 2009)

Hoy en día con la inclusión de las nuevas tecnologías robóticas y que son utilizadas por las grandes fabricas sustituyen al hombre debido a un trabajo ya sea del tipo repetitivo, peligroso, con grandes cantidades de fuerza, etc estos debido al creciente incremento de la demanda en cada industria. (ABB, 2010)

Inicialmente los robots tenían el objetivo de complementar el trabajo de los humanos o reemplazarlos de un trabajo peligroso. Hoy en día son aplicados en sistemas de ensamblaje automatizados, zonas expuestas a radiación, en operaciones quirúrgicas, exploración en el espacio.

Los modernos brazos robóticos superan la precisión humana y obviamente en todas las tareas industriales.. (Tai, El-Sayed, Shahriari, Biglarbegan, & Mahmud, 2016)

La tesis elaborada por **Carlos Andrés Soto Bravo 2015** publicado de forma digital de la **Pontificia Universidad Catolica del Perú**, se concluye que, aplicando el modelo de



Denavit Hartenberg y el modelo geométrico nos permite modelamiento cinemático del brazo robotico.

La tesis elaborada por **Christian Karl Luyo Gonzales 2015** publicado en forma digital de la **Pontificia Universidad Catolica del Peru**, se concluye que, el modelo didactico permitira la comprension de la robotica en referencia a su cinematica directa.

La tesis elaborada por **Marco Troncos Riofrio 2016** publicado en formato digital de la **UNIVERSIDAD DE PIURA**, se concluye, la implementación del brazo robótico realizada en Matlab y control por Arduino permite la obtención de curvas en el espacio virtual, que permite experimentar los conocimientos asociados a la robótica.

La tesis elaborada por **LUIS ARTURO MOSQUERA GARCÉS 2015** emitido en formato digital por la **Universidad LA UNIVERSIDAD ISRAEL**, se concluye que, Desarrollo la iniciativa, creatividad, indagacion en los estudiantes que buscan un robot programado solo para realizar movimiento especifico.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Mecatrónica y Robótica

La mecatrónica tiene como fundamento, la ingeniería electrónica, la ingeniería mecánica e ingeniería del software, con el único objetivo de realizar sistemas inteligentes que satisfagan las necesidades industriales. (Cavala, 2007)

Isaac Asimov fue quien implanto el termino robótica.

Con el paso del tiempo el termino robótica fue tomando otros conceptos.

Considerándose: Robótica como un sistema de comunicación inteligente.

La robótica es un conjunto de sistemas como actuadores, sistemas manipulados automáticamente, sensores, tipos de fuentes de energía, programación especializada



debiendo ser diseñados para un trabajo en conjunto y que el robot cumpla la tarea para la cual fue diseñado.

### **2.2.2. Robot**

Karel Capek, escritor Checo (1921) utilizó este término en su obra *Rossum's Universal Robot*, en que hace referencia al trabajo de manera forzada.

No existiendo un concepto claro, sin embargo Joseph Engelberg quien realizó aportes fundamentales a la Robotica Industrial: "Tal vez no sea capaz de dar un concepto, pero puedo reconocerlo cuando está uno enfrente mío" (Barrientos A., Peñín L& Balaguer C, 2007)

En nuestra actualidad se cuenta con una diversidad de robots que son aplicados a diversas necesidades en nuestra vida, en el presente trabajo nos dirigimos a los robots industriales o también conocidos como manipuladores que son parte de los procesos industriales con un creciente desarrollo de forma específica a cada proceso en la industria.

### **2.2.3. Robótica y sus Objetivos**

- Incremento de trabajo y de producción en las industrias
- Menor cantidad de errores
- Mantenimiento sistematizado
- Incremento en la optimización

### **2.2.4. Robot en la Industria**

Siendo un dispositivo industrial que cumple muchas funciones con características programables con la capacidad de movimiento de sus piezas, utilización de



herramientas, accesorios y que realizaran tareas específicas todo esto siguiendo trayectorias definidas.

## 2.2.5. Robot en la Industria y sus clases

Los robots se clasifican de diversas maneras:

A) Robots Manipuladores: Son mecanismos cuya funcionalidad el control automático de sus movimientos, tarea también realizada por una tableta manual, en trabajos sencillo y que son repetitivos. (J O. C., 2009)

B) Robots de aprendizaje: Son programados por un operador mediante su control manual. (Braun, 2007)

C) Robots controlados por ordenador: Son mecanismos cuyo control es por un computador dedicado. (Braun, 2007)

D) Robots con carácter inteligente: Su control es similar a los Robots controlador por computador con la característica de la interacción con el entorno mediante los sensores. (Barrientos A., Peñin L& Balaguer C, 2007)

E) Microbots: Con objetivos académicos, investigativos.

Asociación Francesa de Robótica Industrial

Clasificación:

a) Del tipo A: Catalogado como manipulador con control manual o aplicando el telemando.

b) Del tipo B: Mecanismo automático, con regulación a través de fines de carrera, controlado por PLC, tiene accionamientos neumáticos, accionamiento eléctrico y accionamiento hidráulico.

c) Del tipo C: Programable y con una trayectoria continua.



d) Del tipo D: Con la capacidad de adquisición de datos del entorno.

## Federación Internacional de Robótica

Clasificación:

- a) Robotica secuencial
- b) Robotica controlable
- c) Robotica adaptativa
- d) Robotica de telemando

## Generaciones

Clasificación:

- a) Primera Generación: El mecanismo robótico repite las tareas secuencialmente, no considera su entorno.
- b) Segunda Generación: El mecanismo robótico adquiere datos de forma limitada del entorno donde se encuentra y actúa de forma secuencialmente. Pudiendo: Ubicar, detectar.
- c) Tercera Generación: Se programa el mecanismo robótico a través de un programa en un lenguaje natural.

## T.M. KNASEL

Clasificación:



**Tabla 2: Clasificación KNASEL**

| <b>Generación</b> | <b>Nombre</b>  | <b>Modo de control</b>                | <b>de Grado de movilidad</b> | <b>de Aplicaciones</b>              |
|-------------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1982              | Pick and Place | Fines de carrera, aprendizaje         | Ninguno                      | Manipulación, servicio de máquinas. |
| 2000              | Móvil          | Sensor inteligente                    | Movilidad por ruedas         | Construcción, Mantenimiento         |
| 2010              | Especiales     | Técnica de la Inteligencia Artificial | Andante                      | Militar, especial                   |

Se aprecia la clasificación realizada a la diversidad de tipos de robots y sus diferentes aplicaciones. Todos estos son aplicados hoy en día, estando los mas avanzados en estudio e investigación para aplicaciones más complejas.

### 2.2.6. Morfología de los Manipuladores

Elementos que forman un manipulador:

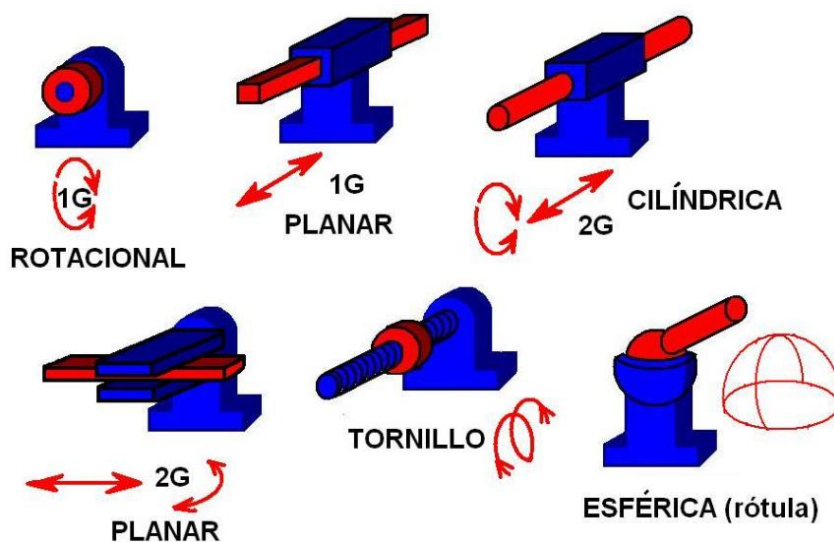
- Estructura propia del mecanismo
- Mecanismo de accionamiento
- Sensores
- Unidad de control
- Efecto final

### 2.2.6.1. Estructura Mecánica

En su estructura mecánica esta formado por elementos conocidos como eslabones y estos unidos a las articulaciones permitiéndoles tener un movimiento que les permita realizar su tarea. (J O. C., 2009)

Su movimiento puede ser de giro, de desplazamiento y en el cual se distinguen sus articulaciones.

*Figura 1 Clasificación de Robots*



Nota: [blog/clasificacion-de-los-robots](http://blog/clasificacion-de-los-robots)

- Las más empleadas son las articulaciones que tienen movimiento rotacional respecto a un eje de rotación. En este caso tiene un grado de libertad.
- Una traslación de la articulación a lo largo del eje de la articulación es gracias a la forma prismática. En este caso tiene un grado de libertad.
- Cuando se tiene dos movimientos como son el de rotación y traslación es de la forma Cilíndrica. En este caso tiene dos grados de libertad.



- d) Cuando el movimiento se realiza en un plano este es de forma planar. En este caso tiene dos grados de libertad.
- e) Cuando se combinan tres direcciones que son perpendiculares en el espacio este es de forma esférica.

En la aplicación industrial los robots tienen articulaciones del tipo rotativa y del tipo prismática.

A los movimientos independientes que se realiza en una articulación se le denomina:

### GRADO DE LIBERTAD

Es el movimiento de forma independiente que una articulación realiza con referencia a su anterior articulación.

El número de eslabones que tiene un mecanismo robótico a veces coincide con los grados de libertad.

Es necesario utilizar las articulaciones que nos permitirá obtener diversas configuraciones.

## 2.2.7. Configuraciones Básicas

### 2.2.7.1. Configuración cartesiana

Considerada como una estructura principal en una actividad industrial.

Tiene tres articulaciones de forma prismática.

Todo punto cartesiano indica la posición.

Las articulaciones tendrán puntos del plano cartesiano que nos permite identificar la ubicación del mecanismo robótico.

### 2.2.7.2. Configuración cilíndrica



En esta configuración se tiene una rotación y sus articulaciones son en una configuración prismática.

La rotación es su primera articulación. Todo en coordenadas cilíndricas

### **2.2.7.3. En coordenadas polares o esféricas**

Una articulación será de rotación y la otra articulación que tiene una configuración prismática.

### **2.2.7.4. Configuración angular**

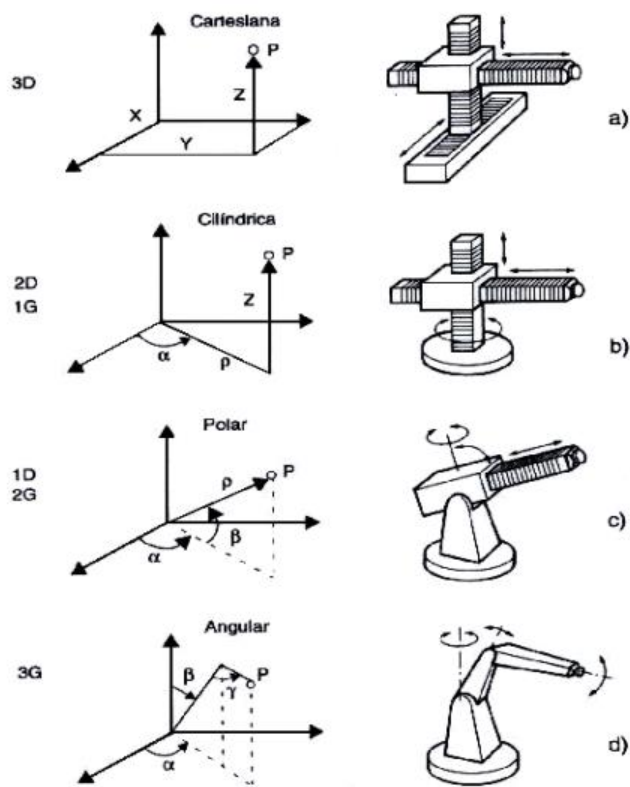
Tiene tres configuraciones de rotación para la articulación.

La ubicación tiene que estar en coordenadas angulares.

Muy aplicado en robots manipuladores industriales complejos.

La forma angular esta siendo utilizada en el área educaciones y también en actividades de investigación y desarrollo.

**Figura 2 Manipuladores Básicos**



Nota: [blog/clasificacion-de-los-robots](http://blog/clasificacion-de-los-robots)

### 2.2.8. Transmisiones

Se requiere reducir el momento de inercia, a través de acercamientos de los actuadores a la base y realizar también una conversión del movimiento circular al movimiento lineal con sentido opuesto. (Braun, 2007)

Características:

- a) Peso reducido y tamaño reducido
- b) Mínimo juego u holgura
- c) Eficiencia alta
- d) No afecta al movimiento



e) Capacidad de funcionamiento constante.

A continuación se tiene diversos tipos de transmisiones y sus características.

*Tabla 3: Características de la transmisión*

| <b>Entrada-Salida</b>    | <b>Transmisión</b>   | <b>Ventaja</b>  | <b>Desventaja</b>   |
|--------------------------|--|---|---|
| <i>Circular/circular</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Engranajes</li> <li>• Correa dentada</li> <li>• Cadena</li> <li>• Paralelogramo</li> <li>• Cable</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pares altos</li> <li>• Gran distancia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Holgura</li> <li>Ruido</li> <li>Giro definido</li> <li>Deformabilidad</li> </ul> |
| <i>Circular/lineal</i>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tornillo sin fin</li> <li>• Cremallera</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Holgura corta</li> <li>Holgura media</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fricción</li> <li>Fricción</li> </ul>  |
| <i>Lineal/ circular</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulado</li> <li>• Cremallera</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Holgura media</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dificultad en el control</li> <li>Fricción</li> </ul>                            |

### 2.2.9. Reductores

El mecanismo robótico posee reductores para poder tener en conjunto el par de fuerza en conjunto con la rapidez del actuador a su salida y que permita que los eslabones tengan el movimiento que requiere el robot. (J A. D., 2008)

Estos deben tener características como:

- a) Tamaño bajo, peso bajo y bajo rozamiento.
- b) Torque bajo
- c) Gran rigidez en la torsión.

Características:



- a) Peso : 01 kg a 30 kg
- b) Torque : 10 kgm<sup>2</sup> a 4 kg m<sup>2</sup>
- c) Velocidad máxima de entrada: 6000 rpm a 8000 rpm
- d) Par nominal: 5500 Nm (salida)
- e) Par (máximo) : 7900 Nm (de salida)
- f) Juego angular : 0.2°
- g) Rigidez : 100 Nm/rad a 2000Nm/rad (torsional)
- h) Eficiencia : 85% a 98%

Un robot opera en cortos intervalos de tiempo, generando arranques continuos y continuas paradas, siendo indispensable que el par de fuerza pueda soportar esta acción.

Angulo de Giro: Giro del eje a la salida cuando existe un cambio en el giro esto en condiciones de una entrada sin giro. (J O. C., 2009)

Es necesario que los reductores tengan la capacidad de alta rigidez, que definira el par a aplicar al eje de salida para que, manteniendo bloqueado la entrada y que este gire un ángulo unidad. (J A. D., 2008)

Reducos de Harmonic Drive: Siendo la mas usados en robótica en esta empresa.

Se tiene mecanismos robotizados que no utilizan reducoters, esto corresponden a los de accionamiento directo eléctrico.



Ventajas:

- a) Rapido posicionamiento y rapida precisión.
- b) Mejor controlabilidad
- c) Simplificacion mecánica

Desventajas:

- a) Requiere maquinas eléctricas rotatorias (motores) (par alto a revoluciones bajas con elevada rigidez).
- b) Reducido codificador en los Robots SCARA.

### **2.2.10. Actuadores**

Generan el movimiento al manipulador.

En Robótica:

- a) Neumaticos : De simple efecto, doble efecto y motores
- b) Hidraulicos: Cilindros, motores
- c) Electricos: En corriente continua y en corriente alterna y también motores de paso a paso.

Ventajas necesarias en los actuadores:

- a) Costo
- b) Peso
- c) Volumen
- d) Mantenimiento
- e) Controlabilidad
- f) Velocidad
- g) Potencia

**Tabla 4: Actuadores y sus características**

| <b>Características</b> | <b>Neumática</b>  | <b>Hidráulica</b>  | <b>Eléctrica</b>  |
|------------------------|---|--|---|
| <i>Energía</i>         | Aire a presión  | Aceite mineral   | Corriente eléctrica   |
| <i>Opciones</i>        | Cilindros<br>Motor de paletas<br>Motor de pistón                                  | Cilindros<br>Motor de paletas<br>Motor de pistones                         | Corriente continua<br>Corriente alterna<br>Motor de paso a paso |
| <i>Ventajas</i>        | Baratos<br>Rápidos<br>Sencillos<br>Robustos                                       | Eficiente relación de potencia<br>Autolubricandos<br>Mejor estabilidad     | Precios<br>Facilidad en el control<br>De instalación sencilla   |
| <i>Desventajas</i>     | Dificultad de control continuo.<br>Instalaciones especiales<br>Genera mucho ruido | Difícil mantenimiento<br>Instalación especial<br>Frecuentes fugas<br>Caros | Potencia limitada   |

Tabla: Actuadores y sus características

### 2.2.11. Sensores

Todo manipulador tiene sensores, que permiten una interacción con el exterior que lo rodea interpretando las señales de su entorno. (Braun, 2007)

El robot cuenta con sensores internos:

De posición:

Análogos: Inductivos, potenciómetros, LVDT.



Digitales: Encoders, absolutos, Regla óptica.

Para la velocidad: Tacómetros

Para la presencia: Inductivo, Capacitivo, Óptico, Ultrasonido, Efecto Hall.

### 2.2.12. Efector

Mecanismo terminal para desarrollar la labor específica. Puede tener una diversidad de elementos como herramientas, que, en combinación con el movimiento del manipulador, logran desarrollar algún proceso industrial. (J A. D., 2008)

Se clasifican en la siguiente tabla.

*Tabla 5:Herramientas y su clasificación*

| <b>Herramienta</b>            | <b>Características</b>                           |
|-------------------------------|--|
| <i>Efector de soldadura</i>   | De apertura y cierre sobre el elemento a soldar. |
| <i>Soldadura de arco</i>      | Flujo constante para la soldadura                |
| <i>Para atornillar</i>        | Alimentación de tornillos                        |
| <i>Para pintura</i>           | Pulverización de pintura                         |
| <i>Para trabajo con laser</i> | En metales y otros.                              |

Tabla: Herramientas y su clasificación



**Tabla 6: Terminales y sus tipos de accionamiento**

| <b>Pinza</b>            | <b>Acción</b>   | <b>Aplicación</b>                 |
|-------------------------|---|-----------------------------------|
| <i>Para presión</i>     | Con elementos Neumáticos.<br>Con elementos eléctricos | Transporte de piezas.             |
| <i>Para enganche</i>    | Con elementos Neumáticos.<br>Con elementos eléctricos | Piezas de diferentes dimensiones. |
| <i>Ventosa de vacío</i> | Con elementos Neumáticos                              | Cuerpos con superficies lisas     |
| <i>Electroimán</i>      | Eléctrico   | Piezas ferromagnéticas            |

Tabla: Terminales y sus tipos de accionamiento

**2.3. CINEMATICA DIRECTA**

Metodología para realizar el diseño de los mecanismos manipulados.

Un mecanismo robótico manipulador se caracteriza por su cinemática abierta.

Esta cinemática se aprecia físicamente en los puntos conocidos como articulaciones, estos puntos son de rotación o pueden ser de traslación. Cada punto llamado articulación es un grado de libertad, en tanto que el otro extremo libre esta unido a la herramienta que realizara el proceso o algún tipo de trabajo de objetos.

Este elemento terminal o herramienta es el efector. (E, 2003)



La cinemática directa tiene como principal objetivo determinar:

- La posición.
- Sentido del efector final.

Y que este puede determinarse por un conjunto de transformaciones de ángulos en sus articulaciones referenciando su sistema de coordenadas empleado.

Se cuenta con Denavit Hartenberg. La misma que nos permite obtener expresiones que nos permitan obtener la cinemática directa. (Braun, 2007)

### 2.3.1. Matrices de Transformación Homogéneas

Matriz vector.

Submatriz de transformación homogénea:

$$T = \begin{pmatrix} R(3x3) & p(3x1) \\ F(1x3) & W(1x1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Rotacion & Traslacion \\ Perspectiva & Escalado \end{pmatrix}$$

Matriz de rotación: Nos permite representar la rotación en el espacio.

Traslación: vector que representa la traslación espacial.

Perspectiva: Es un vector (0,0,0) conocido como nulo.

Escalado: Es un vector cuyo modulo es la unidad.

Por tanto la matriz de transformación Homogénea es:

$$T = \begin{pmatrix} R(3x3) & p(3x1) \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Nos representa la rotación (sub\_matriz de rotación) y la matriz de traslación (sub\_matriz de traslación) con coordenadas O'X'Y'Z' con a OXYZ

Realizamos:

- Una sola expresión de acuerdo al sistema de referencia
- Realizar la combinación de traslaciones y rotaciones.

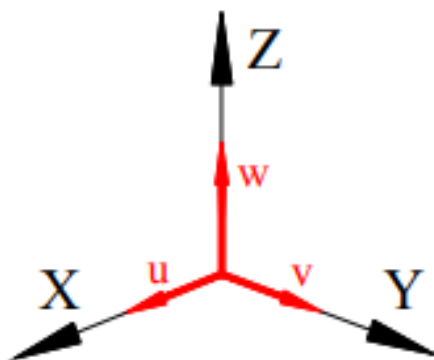
### 2.3.2. Formación de la Matriz

Transformación compleja: Esta se descompone en transformaciones consecutivas de movimientos simples como giros básicos o movimiento de traslación.

#### 2.3.2.1. Submatriz de Rotación

Explicamos la obtención de esta sub\_matriz, se representa un sistema de coordenadas U,V,W. Estas pueden rotar o pueden trasladarse teniendo como eje a cualquiera de los ejes X,Y,Z. (E, 2003)

*Figura 3 Sistema Cartesiano*



Se observa el subsistema u,v,w.

ux: Vector u como proyección a eje X

vy: Vector v como proyección a eje Y

wz: Vector w como proyección a eje Z

Se puede representar en coordenadas cartesianas:

$$T = \begin{pmatrix} u_x & v & w_x \\ u_y & v_x & w_x \\ u_z & v_x & w_x \end{pmatrix}$$

Simplificando la matriz anterior y que coincide con los valores se obtiene:

Matriz en coordenadas cartesianas

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz tiene la forma mostrada debido al vector u sobre el eje X. y no se representan las proyecciones sobre los demás ejes.

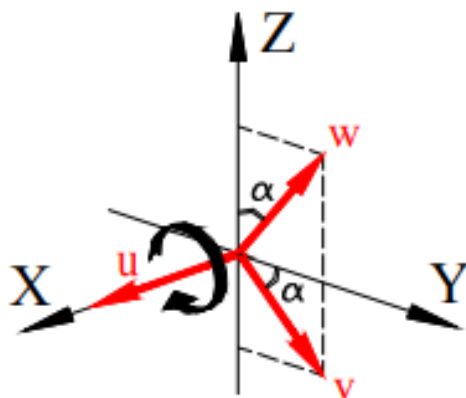
Procedimiento igual a los ejes V y W.

La submatriz para la rotación se representa los giros alrededor de cada uno de los ejes coordenados de forma independiente. (E, 2003)

Siendo estos:

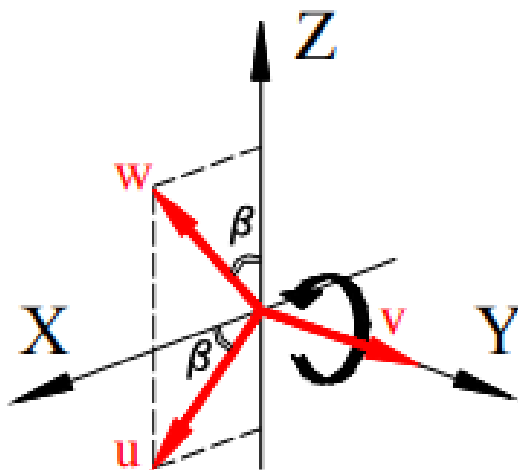
Giro alrededor del eje x, alrededor del eje y y del eje z.

*Figura 4 Matriz de giro sobre el eje "X"*



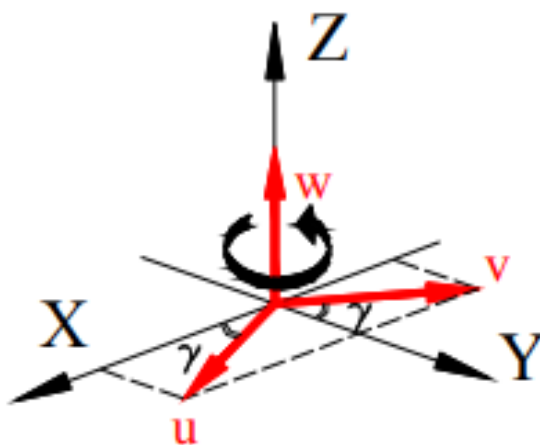
$$T(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\text{sen}\alpha \\ 0 & \text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}$$

Figura 5 Matriz de giro sobre el eje "Y"



$$T(y, \beta) = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \text{sen}\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix}$$

Figura 6: Matriz de giro sobre el eje Z

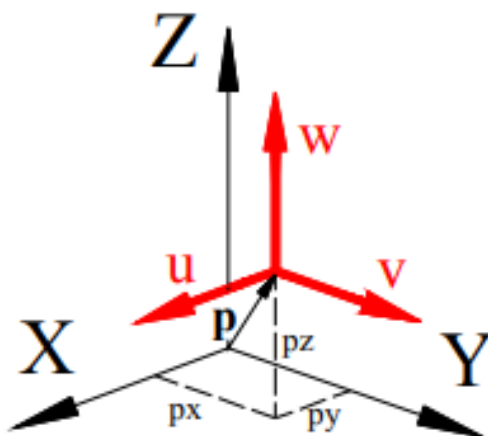


$$T(z, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos\gamma & -\text{sen}\gamma & 0 \\ \text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 2.3.2.2. Submatriz de Traslación

Vector que une el sistema de traslación con la base

Figura 7 Sistema Coordenado XYZ - UVW



$$P = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix}$$

### 2.3.3. Movimiento

Matriz de transformación homogénea alrededor del eje X

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

M.T.H. alrededor del eje Y

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



M.T.H. alrededor del eje Z

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

M.T.H. traslación espacial

$$T(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 2.3.3.1. Localización Espacial

Definimos el numero de movimientos que son necesarios y que nos permita determinar la localización espacial.

En un manipulador se consideran tres:

- a) Giro al rededor eje Z :  $T(z, \theta)$
- b) P: Perspectiva
- c) Giro: En la posición al final.

Se multiplican todas las matrices de estos movimientos, generando logrando obtener la matriz homogénea del mecanismo en análisis.

M.T.H. aplicada al manipulador.

**Matriz de transformación homogénea** =  $T(z, \theta) \times p \times T(x, \alpha)$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

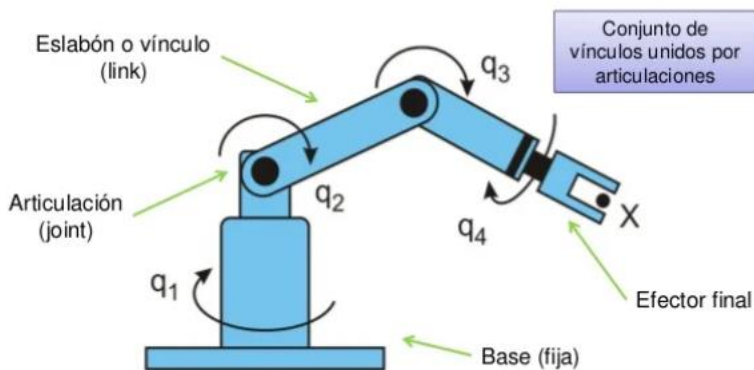
$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \cdot a \cdot \cos(\alpha) & \sin(\theta) \cdot \sin(\alpha) & p_x \cdot \cos(\theta) + (-p_y \cdot \sin(\theta)) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) & -\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) & p_x \cdot \sin(\theta) + p_y \cdot \cos(\theta) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 2.3.4. Cinemática Directa

Nos permitirá determinar:

- Grados de libertad
- Posición
- Dimensiones que tienen los eslabones.

**Figura 8 Manipulador y parámetros geométrico**



Nota: <https://www.areatecnologia.com/electronica/tipos-de-robots>

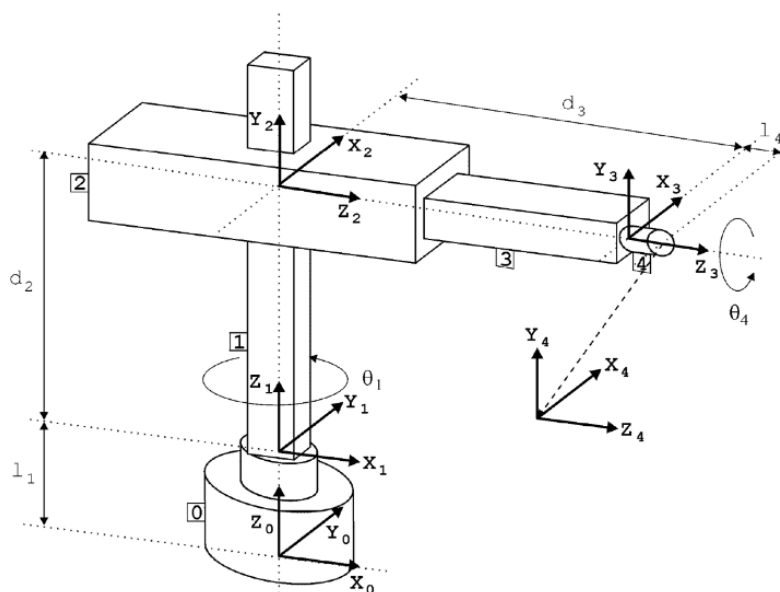
Teniendo el modelo definido es posible iniciar con las ecuaciones del manipulador.

Establecer el sistema coordinado para cada una de las articulaciones y que cada eslabón tiene su propio sistema de coordenada propio. (E, 2003)

Se consideran los parámetros siguientes:

- El Sistema de coordenadas es  $n+1$ . ( $n$ : numero de GDL del manipulador).
- Identificar una base como sistema de coordenadas este tiene la numeración 0.
- En el sistema base 0: Los ejes  $x$  e  $y$  son colocados de forma arbitraria, debe cumplirse la regla de la mano derecha.
- En el eje  $x$ ( $x_i$ ) en un sistema diferente al de la base cero, colocado de forma perpendicular uniendo los sistemas  $i-1$  e  $i$ .
- En el extremo del eslabon se coloca el ultimo sistema y debe ser paralelo al anterior a este (penultimo)

**Figura 9** *Sistemas de coordenadas del manipulador*



Comenzando por el desarrollo para los sistemas coordenados 0 y 1.

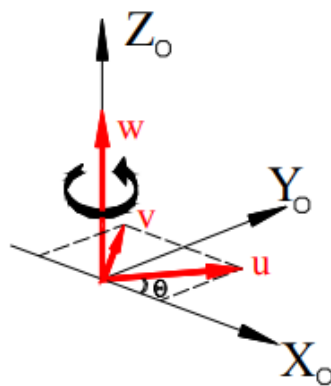
La M.T.H. nos permite relacionar los sistemas 1 y 0, y esta se basa en el movimiento que realiza el sistema. (J O. C., 2009)

Realiza tres movimientos:

Movimiento 01:

Existirá un giro, siendo los GDL de la articulación misma, siendo alrededor del eje  $Z_0$ , considerado como movimiento primero y se muestra:.

*Figura 10 Eje de Movimiento*



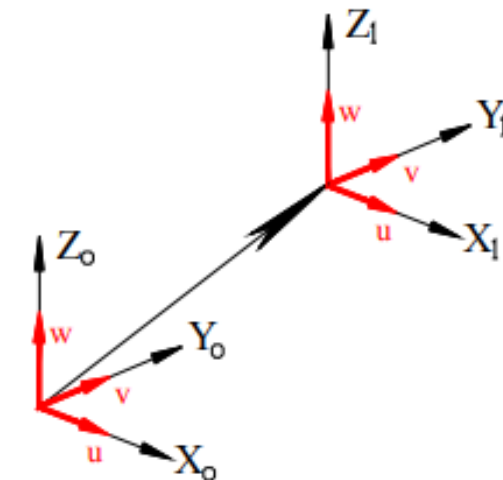
$$T(x, \alpha) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Movimiento 02:

Este es la traslación espacial, que se mueve sobre el vector p, en la base de coordenadas 0, llegando al origen del sistema coordenado 1.

Observamo en la siguiente grafica.

*Figura 11 Eje de movimiento de traslación*

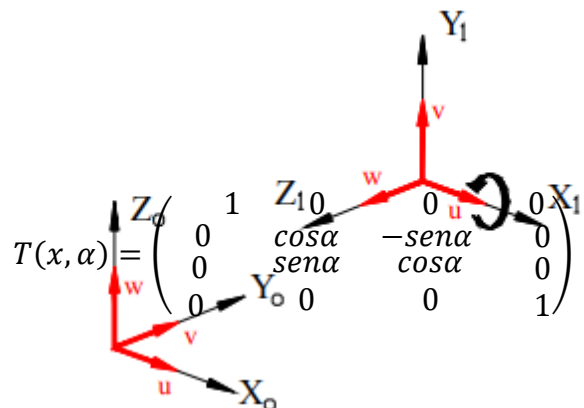


$$p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Movimiento 03:

Giro como con eje X:

*Figura 12 Eje de giro en segundo movimiento*



$$T(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\text{sena}\alpha & 0 \\ 0 & \text{sena}\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



La M.T.H es el resultado de la multiplicación de tres matrices que nos mostraran el movimiento con sus valores correspondientes:

Se muestra a continuación:

$$T_{01} = T(z, \theta_1) \cdot p \cdot T(x, \alpha_1)$$

$$T_{01} = T(z, \theta_1) \cdot p \cdot T(x, \alpha_1)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\text{sen}\alpha & 0 \\ 0 & \text{sen}\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de transformación homogénea resultante.

$$T_{34} = T(z, \theta_4) \cdot p \cdot T(y, \alpha_4)$$

$$T(z, \theta_4) \cdot p \cdot T(y, \alpha_4) := \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & -\text{sen}\theta_4 & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\alpha_4 & 0 & \text{sen}\alpha_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\alpha_4 & 0 & \cos\alpha_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{34} := \begin{pmatrix} \cos\theta_4 \cdot \cos\alpha_4 & -\text{sen}\theta_4 & \cos\theta_4 \cdot \text{sen}\alpha_4 & L_4 \cdot \cos\theta_4 \\ \text{sen}\theta_4 \cdot \cos\alpha_4 & \cos\theta_4 & \text{sen}\theta_4 \cdot \text{sen}\alpha_4 & L_4 \cdot \text{sen}\theta_4 \\ -\text{sen}\alpha_4 & 0 & \cos\alpha_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Corresponde al tipo descriptivo, dado que busca utilizar los conocimientos que fueron adquiridos al realizar un análisis de cinemática directa, y de esta forma obtener conocimiento del robot KUKA KR 150. (Braun, 2007)

#### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

Ubicación: Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica en filial Puno

Institución: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez,

Dirección: Provincia de Puno, departamento de Puno, N° 783.

*Figura 13 UANCV - PUNO*



Nota: <https://www.google.com/maps/>

PUNO+%2b+UNIVERSIDAD+ANDINA+NESTOR+CACERES+VELASQUEZ/@-

15.84205611,-70.02409352



### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se realiza un recolección de información especializada en robótica, una recolección de análisis de artículos especializados en robótica.

## CAPÍTULO IV

### INGENIERIA DEL PROYECTO

El Robot KUKA perteneciente a la familia de manipuladores, nos muestra GDL, sus articulaciones que son de uso en el control de trayectorias de un punto hacia otro punto o de trayectorias continuas.

*Figura 14 Robot KUKA*



Nota: [home/ajaramil/libro\\_robotica/cinematica](http://home/ajaramil/libro_robotica/cinematica)

Trayectoria desde un punto a otro punto.

De acuerdo al movimiento de cada articulación también cambiaría su posición inicial con respecto a su posición final sin considerar las demás articulaciones. (E, 2003)

## Especificaciones Técnicas

En la siguiente tabla:

**Tabla 7: Robot KUKA y sus especificaciones técnicas**

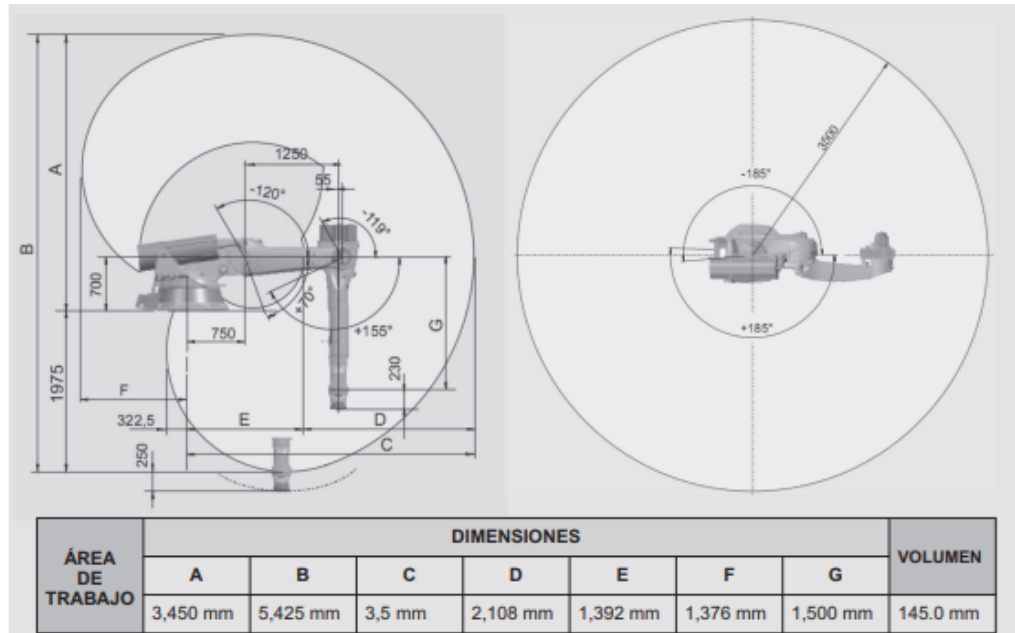
|                                       |                              |            |
|---------------------------------------|------------------------------|------------|
| Carga útil.                           | 120 kg                       |            |
| Carga adicional brazo.                | 50 kg                        |            |
| Carga máxima total.                   | 170 kg                       |            |
| Cantidad de ejes.                     | 6                            |            |
| Variante.                             | Foundry                      |            |
| Posición de montaje.                  | Suelo, plataforma de montaje |            |
| Repetibilidad.                        | +0,20 mm, -0,20 mm           |            |
| Unidad de control.                    | KR C2                        |            |
| Peso (sin unidad de control), aprox.. | 1465 kg                      |            |
| Datos de los ejes.                    | Campo Software.              | Velocidad. |
| Eje 1 (A1).                           | 185°, -185°                  | 102°/s     |
| Eje 2 (A2).                           | +70° /-120°                  | 96°/s      |
| Eje 3 (A3).                           | + 155° /-119°                | 83°/s      |
| Eje 4 (A4).                           | 350°, -350°                  | 121°/s     |
| Eje 5 (A5).                           | 125°, -125°                  | 124°/s     |
| Eje 6 (A6).                           | 350°, -350°                  | 184°/S     |

Tabla : Robot KUKA y sus especificaciones técnicas

Aplicaciones.

En procesos de carga y descarga, de prensado e incluso servicios de manipulación.

**Figura 15 Dimensiones del Robot KUKA**



*Nota:* <https://www.kuka.com/es-mx/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industria>

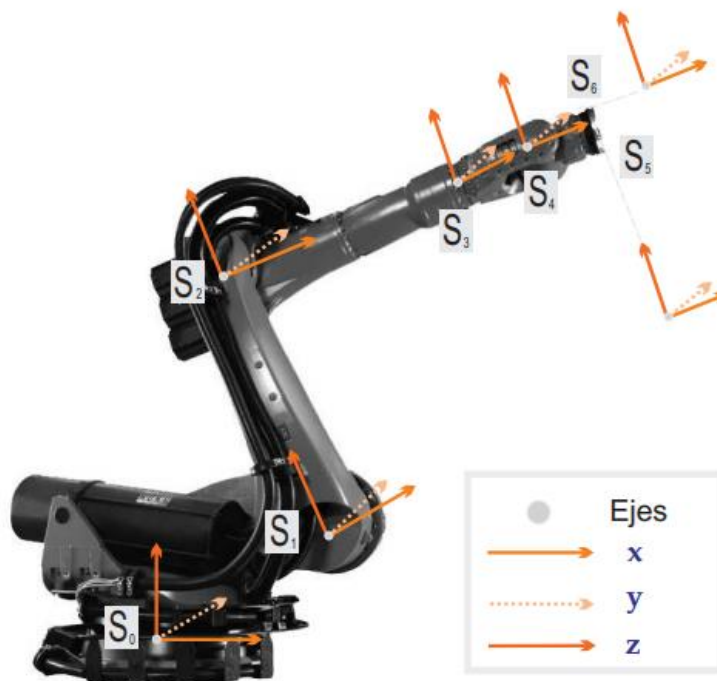
Se obtendra las expresiones correspondientes a la base de referencia en el extremo del robot..

Consideramos las longitudes  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$ , del robot asi como los valores angulares de los ejes  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  (E, 2003)

*Para obtener la relacion entre  $S_0$  y  $S_6$  se convertira sucesivametne  $S_6$ )*

En  $S_5, S_5$  en  $S_4, S_4$  en  $S_3, S_3$  en  $S_2, S_2$  en  $S_1, S_1$  en  $S_0$ , según las siguientes transformacions.

Figura 16 Sistema de referencia del robot



Nota: <https://www.kuka.com/es-mx/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industria>

1. ( $S_6 \rightarrow S_5$ ). Desplazamiento de  $S_6$  una distancia  $l_7$  a lo largo del eje  $z_5$  hasta  $S_5$  y rotación con ángulo  $\theta_6$  alrededor del eje  $x_5$ .
2. ( $S_5 \rightarrow S_4$ ). Desplazamiento de  $S_5$  una distancia  $l_6$  a lo largo del eje  $x_4$  hasta  $S_4$  y rotación con ángulo  $\theta_5$  alrededor del eje  $y_4$ .
3. ( $S_4 \rightarrow S_3$ ). Desplazamiento de  $S_4$  una distancia  $l_5$  a lo largo del eje  $x_3$  hasta  $S_3$  y rotación con ángulo  $\theta_4$  alrededor del eje  $x_3$ .
4. ( $S_3 \rightarrow S_2$ ). Desplazamiento de  $S_3$  una distancia  $l_4$  a lo largo del eje  $x_2$  hasta  $S_2$  y rotación con ángulo  $\theta_3$  alrededor del eje  $y_2$ .
5. ( $S_2 \rightarrow S_1$ ). Desplazamiento de  $S_2$  una distancia  $l_3$  a lo largo del eje  $z_1$  hasta  $S_1$ , rotación con ángulo  $\theta_2$  alrededor del eje  $y_1$ .
6. ( $S_1 \rightarrow S_0$ ). Desplazamiento de  $S_1$  una distancia  $l_2$  a lo largo del eje  $z'_0$ , que es el punto original con  $S_1$ , desplazamiento  $l_1$  a lo largo del eje  $x_1$  hasta  $S_0$  y rotación con ángulo  $\theta_1$  alrededor del eje  $z_0$ .

Los desplazamientos quedaran definidos de la siguiente forma  $\vec{D}_1 = (l_1, 0, 0)$ ,  $\vec{D}_2 = (0, 0, l_2)$ ,  $\vec{D}_3 = (0, 0, l_3)$ ,  $\vec{D}_4 = (l_4, 0, 0)$ ,  $\vec{D}_5 = (l_5, 0, 0)$ ,  $\vec{D}_6 = (l_6, 0, 0)$  y  $\vec{D}_7 = (0, 0, l_7)$ .

Lo anterior se debe expresar como cuaternios puros para poder efectuar el desarrollo algebraico:  $T_1 = (0, l_1, 0, 0)$ ,  $T_2 = (0, 0, 0, l_2)$ ,  $T_3 = (0, 0, 0, l_3)$ ,  $T_4 = (0, l_4, 0, 0)$ ,  $T_5 = (0, l_5, 0, 0)$ ,  $T_6 = (0, l_6, 0, 0)$  y  $T_7 = (0, 0, 0, l_7)$ .

La representación de los giros estarán dados por los cuaternios  $Q_1 = (\check{C}_1, 0, 0, \check{S}_1)$ ,  $Q_2 = (\check{C}_2, 0, \check{S}_2, 0)$ ,  $Q_3 = (\check{C}_3, 0, \check{S}_3, 0)$ ,  $Q_4 = (\check{C}_4, \check{S}_4, 0, 0)$ ,  $Q_5 = (\check{C}_5, 0, \check{S}_5, 0)$  y  $Q_6 = (\check{C}_6, \check{S}_6, 0, 0)$ , donde  $\check{C}_i = \cos\left(\frac{\theta_i}{2}\right)$  y  $\check{S}_i = \sin\left(\frac{\theta_i}{2}\right)$ .

**Observación:**

Se deben tener presente las identidades trigonométricas básicas durante el desarrollo del modelo:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \alpha \pm \beta &= \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta\end{aligned}$$

La representación para  $\cos \theta_i$  y  $\sin \theta_i$  serán respectivamente  $C_i$ ,  $S_i$ , es decir,  $C_i = \cos \theta_i$ ,  $S_i = \sin \theta_i$ .

**Ciclo 1. Paso del sistema  $S_6$  al sistema  $S_5$**

*Desplazamiento de  $S_6$  una distancia  $l_7$  a lo largo del eje  $z_5$  hasta  $S_5$  y rotación con ángulo  $\theta_6$  alrededor del eje  $x_5$ .*

Para iniciar el proceso, partimos del vector  $\vec{v}_0 = (0, 0, 0)$  asociado al sistema  $S_6$ , el cual expresado como cuaternio puro es  $T_0 = (0, 0, 0, 0)$ . De esta forma se tiene que  $S_6$

$$T_0 + T_7 = (0, 0, 0, l_7) = A_1,$$

$$Q_6 A_1 Q_6^* = (\check{C}_6, \check{S}_6, 0, 0)(0, 0, 0, l_7)(\check{C}_6, -\check{S}_6, 0, 0)$$

**Nota:** El producto de la terna de cuaternios, se realizará primero, la multiplicación de los dos primeros (contando de izquierda a derecha), dicho producto será identificado por

Posteriormente, del resultado anterior, se efectúa la última operación con el cuaternio restante, donde estará representado el procedimiento por

$$Q_6 A_1 = (\check{C}_6, \check{S}_6, 0, 0)(0, 0, 0, l_7) = (0, 0, -l_7 \check{S}_6, l_7 \check{C}_6) \text{ y}$$

$$(0, 0, -l_7 \check{S}_6, l_7 \check{C}_6) Q_6^* = (0, 0, -l_7 \check{S}_6, l_7 \check{C}_6)(\check{C}_6, -\check{S}_6, 0, 0) = (0, 0, -l_7 S_6, l_7 C_6) = A_2.$$



### Ciclo 2. Paso del sistema $S_5$ al sistema ( $S_4$ )

Desplazamiento de  $S_5$  una distancia  $l_6$  a lo largo del eje  $x_4$  hasta  $S_4$  y rotación con ángulo  $\theta_5$  alrededor del eje  $y_4$ .

$$A_2 + T_6 = (0, l_6, -l_7 S_6, l_7 C_6) = A_3$$

$$Q_5 A_3 Q_5^* = (\ddot{C}_5, 0, \ddot{S}_5, 0)(0, l_6, -l_7 S_6, l_7 C_6)(\ddot{C}_5, 0, -\ddot{S}_5, 0),$$

$$(\ddot{C}_5, 0, \ddot{S}_5, 0)(0, l_6, -l_7 S_6, l_7 C_6) = (l_7 S_6 \ddot{S}_5, l_7 C_6 \ddot{S}_5 + l_6 \ddot{C}_5, -l_7 S_6 \ddot{C}_5, l_7 C_6 \ddot{C}_5 - l_6 \ddot{S}_5) \text{ y}$$

$$(l_7 S_6 \ddot{S}_5, l_7 C_6 \ddot{S}_5 + l_6 \ddot{C}_5, -l_7 S_6 \ddot{C}_5, l_7 C_6 \ddot{C}_5 - l_6 \ddot{S}_5)(\ddot{C}_5, 0, -\ddot{S}_5, 0) = (0, l_7 C_6 S_5 + l_6 C_5, -l_7 S_6, l_7 C_6 C_5 - l_6 S_5) = A_4.$$

### Ciclo 3. Paso del sistema $S_4$ al sistema $S_3$

Desplazamiento de  $S_4$  una distancia  $l_5$  a lo largo del eje  $x_3$  hasta  $S_3$  y rotación con ángulo  $\theta_4$  alrededor del eje  $x_3$ .

$$A_4 + T_5 = (0, l_7 C_6 S_5 + l_6 C_5 + l_5, -l_7 S_6, l_7 C_6 C_5 - l_6 S_5) = A_5,$$

$$Q_4 A_5 Q_4^* = (\ddot{C}_4, \ddot{S}_4, 0, 0) A_5 (\ddot{C}_4, -\ddot{S}_4, 0, 0),$$

$$(\ddot{C}_4, \ddot{S}_4, 0, 0) A_5 = (\ddot{C}_4, \ddot{S}_4, 0, 0)(0, l_7 C_6 S_5 + l_6 C_5 + l_5, -l_7 S_6, l_7 C_6 C_5 - l_6 S_5) = (-[l_7 C_6 S_5 \ddot{S}_4 + l_6 C_5 \ddot{S}_4 + l_5 \ddot{S}_4], l_7 C_6 S_5 \ddot{C}_4 + l_6 C_5 \ddot{C}_4 + l_5 \ddot{C}_4, -l_7 [C_6 C_5 \ddot{S}_4 + S_6 \ddot{C}_4] + l_6 S_5 \ddot{S}_4, l_7 [C_6 C_5 \ddot{C}_4 - S_6 \ddot{S}_4] - l_6 S_5 \ddot{C}_4) \text{ y}$$

$$(-[l_7 C_6 S_5 \ddot{S}_4 + l_6 C_5 \ddot{S}_4 + l_5 \ddot{S}_4], l_7 C_6 S_5 \ddot{C}_4 + l_6 C_5 \ddot{C}_4 + l_5 \ddot{C}_4, -l_7 [C_6 C_5 \ddot{S}_4 + S_6 \ddot{C}_4] + l_6 S_5 \ddot{S}_4, l_7 [C_6 C_5 \ddot{C}_4 - S_6 \ddot{S}_4] - l_6 S_5 \ddot{C}_4)(\ddot{C}_4, -\ddot{S}_4, 0, 0) = (0, l_7 C_6 S_5 + l_6 C_5 + l_5, l_7 [-C_6 C_5 S_4 - S_6 C_4] + l_6 S_5 S_4, l_7 [C_6 C_5 C_4 - S_6 S_4] - l_6 S_5 C_4) = A_6 .$$



### Ciclo 4. Paso del sistema $S_3$ al sistema $S_2$

Desplazamiento de  $S_3$  una distancia  $l_4$  a lo largo del eje  $x_2$  hasta  $S_2$  y rotación con ángulo  $\theta_3$  alrededor del eje  $y_2$ .

$$A_6 + T_4 = (0, l_7 C_6 S_5 + l_6 C_5 + l_5 + l_4, l_7 [-C_6 C_5 S_4 - S_6 C_4] + l_6 S_5 S_4, l_7 [C_6 C_5 C_4 - S_6 S_4] - l_6 S_5 C_4) = A_7,$$

$$Q_3 A_7 Q_3^* = (\ddot{C}_3, 0, \ddot{S}_3, 0) A_7 (\ddot{C}_3, 0, -\ddot{S}_3, 0),$$

$$\begin{aligned} Q_3 A_7 &= (\ddot{C}_3, 0, \ddot{S}_3, 0) A_7 = \\ &(-l_7 [-C_6 C_5 S_4 \ddot{S}_3 - S_6 C_4 \ddot{S}_3] + l_6 S_5 S_4 \ddot{S}_3, l_7 [C_6 C_5 C_4 \ddot{S}_3 + C_6 S_5 \ddot{C}_3 - S_6 S_4 \ddot{S}_3] \\ &+ l_6 [C_5 \ddot{C}_3 - S_5 C_4 \ddot{S}_3] + l_5 \ddot{C}_3 + l_4 \ddot{C}_3, l_7 [-C_6 C_5 S_4 \ddot{C}_3 - S_6 C_4 \ddot{C}_3] + l_6 S_5 S_4 \ddot{C}_3, \\ &l_7 [C_6 C_5 C_4 \ddot{C}_3 - C_6 S_5 \ddot{S}_3 - S_6 S_4 \ddot{C}_3] + l_6 [-S_5 C_4 \ddot{C}_3 - C_5 \ddot{S}_3] - l_5 \ddot{S}_3 - l_4 \ddot{S}_3) \text{ y} \\ &(-l_7 [-C_6 C_5 S_4 \ddot{S}_3 - S_6 C_4 \ddot{S}_3] + l_6 S_5 S_4 \ddot{S}_3, l_7 [C_6 C_5 C_4 \ddot{S}_3 + C_6 S_5 \ddot{C}_3 - S_6 S_4 \ddot{S}_3] \\ &+ l_6 [C_5 \ddot{C}_3 - S_5 C_4 \ddot{S}_3] + l_5 \ddot{C}_3 + l_4 \ddot{C}_3, l_7 [-C_6 C_5 S_4 \ddot{C}_3 - S_6 C_4 \ddot{C}_3] + l_6 S_5 S_4 \ddot{C}_3, \\ &l_7 [C_6 C_5 C_4 \ddot{C}_3 - C_6 S_5 \ddot{S}_3 - S_6 S_4 \ddot{C}_3] + l_6 [-S_5 C_4 \ddot{C}_3 - C_5 \ddot{S}_3] - l_5 \ddot{S}_3 - l_4 \ddot{S}_3) (\ddot{C}_3, 0, -\ddot{S}_3, 0) = \\ &(0, l_7 [C_6 C_5 C_4 S_3 + C_6 S_5 C_3 - S_6 S_4 S_3] + l_6 [C_5 C_3 - S_5 C_4 S_3] + l_5 C_3 + l_4 C_3, l_7 [-C_6 C_5 S_4 - \\ &S_6 C_4] + l_6 S_5 S_4, l_7 [C_6 C_5 C_4 C_3 - C_6 S_5 S_3 - S_6 S_4 C_3] + l_6 [-C_5 S_3 - S_5 C_4 C_3] - l_5 S_3 - \\ &l_4 S_3) = A_8. \end{aligned}$$

### Ciclo 5. Paso del sistema $S_2$ al sistema $S_1$

Desplazamiento de  $S_2$  una distancia  $l_3$  a lo largo del eje  $z_1$  hasta  $S_1$ , rotación con ángulo  $\theta_2$  alrededor del eje  $y_1$ .

$$\begin{aligned} A_8 + T_3 &= \\ &(0, l_7 [C_6 C_5 C_4 S_3 + C_6 S_5 C_3 - S_6 S_4 S_3] + l_6 [C_5 C_3 - S_5 C_4 S_3] + l_5 C_3 + l_4 C_3, l_7 [-C_6 C_5 S_4 - \\ &S_6 C_4] + l_6 S_5 S_4, l_7 [C_6 C_5 C_4 C_3 - C_6 S_5 S_3 - S_6 S_4 C_3] + l_6 [-C_5 S_3 - S_5 C_4 C_3] - l_5 S_3 - \\ &l_4 S_3 + l_3) = A_9, \end{aligned}$$

$$Q_2 A_9 Q_2^* = (\ddot{C}_2, 0, \ddot{S}_2, 0) A_9 (\ddot{C}_2, 0, -\ddot{S}_2, 0),$$



$$\begin{aligned}
 Q_2 A_9 &= (\ddot{C}_2, 0, \ddot{S}_2, 0) A_9 = \\
 &(-[l_7[-C_6 C_5 S_4 \ddot{S}_2 - S_6 C_4 \ddot{S}_2] + l_6 S_5 S_4 \ddot{S}_2], \\
 &l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 \ddot{S}_2 - C_6 S_5 S_3 \ddot{S}_2 - S_6 S_4 C_3 \ddot{S}_2] + l_6[-C_5 S_3 \ddot{S}_2 - S_5 C_4 C_3 \ddot{S}_2] \\
 &- l_5 S_3 \ddot{S}_2 - l_4 S_3 \ddot{S}_2 + l_3 \ddot{S}_2 + l_7[C_6 C_5 C_4 S_3 \ddot{C}_2 + C_6 S_5 C_3 \ddot{C}_2 - S_6 S_4 S_3 \ddot{C}_2] + l_6[C_5 C_3 \ddot{C}_2 \\
 &- S_5 C_4 S_3 \ddot{C}_2] + l_5 C_3 \ddot{C}_2 + l_4 C_3 \ddot{C}_2, l_7[-C_6 C_5 S_4 \ddot{C}_2 - S_6 C_4 \ddot{C}_2] + l_6 S_5 S_4 \ddot{C}_2 \\
 &l_7[-C_6 C_5 C_4 S_3 \ddot{S}_2 - C_6 S_5 C_3 \ddot{S}_2 + S_6 S_4 S_3 \ddot{S}_2] + l_6[-C_5 C_3 \ddot{S}_2 + S_5 C_4 S_3 \ddot{S}_2] - l_5 C_3 \ddot{S}_2 - \\
 &l_4 C_3 \ddot{S}_2 + l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 \ddot{C}_2 - C_6 S_5 S_3 \ddot{C}_2 - S_6 S_4 C_3 \ddot{C}_2] + l_6[-C_5 S_3 \ddot{C}_2 - S_5 C_4 C_3 \ddot{C}_2] - \\
 &l_5 S_3 \ddot{C}_2 - l_4 S_3 \ddot{C}_2 + l_3 \ddot{C}_2) y \\
 \\
 &(-[l_7[-C_6 C_5 S_4 \ddot{S}_2 - S_6 C_4 \ddot{S}_2] + l_6 S_5 S_4 \ddot{S}_2], \\
 &l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 \ddot{S}_2 - C_6 S_5 S_3 \ddot{S}_2 - S_6 S_4 C_3 \ddot{S}_2] + l_6[-C_5 S_3 \ddot{S}_2 - S_5 C_4 C_3 \ddot{S}_2] \\
 &- l_5 S_3 \ddot{S}_2 - l_4 S_3 \ddot{S}_2 + l_3 \ddot{S}_2 + l_7[C_6 C_5 C_4 S_3 \ddot{C}_2 + C_6 S_5 C_3 \ddot{C}_2 - S_6 S_4 S_3 \ddot{C}_2] + l_6[C_5 C_3 \ddot{C}_2 \\
 &- S_5 C_4 S_3 \ddot{C}_2] + l_5 C_3 \ddot{C}_2 + l_4 C_3 \ddot{C}_2, l_7[-C_6 C_5 S_4 \ddot{C}_2 - S_6 C_4 \ddot{C}_2] + l_6 S_5 S_4 \ddot{C}_2 \\
 &l_7[-C_6 C_5 C_4 S_3 \ddot{S}_2 - C_6 S_5 C_3 \ddot{S}_2 + S_6 S_4 S_3 \ddot{S}_2] + l_6[-C_5 C_3 \ddot{S}_2 + S_5 C_4 S_3 \ddot{S}_2] - l_5 C_3 \ddot{S}_2 - \\
 &l_4 C_3 \ddot{S}_2 + l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 \ddot{C}_2 - C_6 S_5 S_3 \ddot{C}_2 - S_6 S_4 C_3 \ddot{C}_2] + l_6[-C_5 S_3 \ddot{C}_2 - S_5 C_4 C_3 \ddot{C}_2] - \\
 &l_5 S_3 \ddot{C}_2 - l_4 S_3 \ddot{C}_2 + l_3 \ddot{C}_2)(\ddot{C}_2, 0, -\ddot{S}_2, 0) = \\
 &(0, l_7[C_6 C_5 C_4 S_3 C_2 + C_6 S_5 C_3 C_2 - S_6 S_4 S_3 C_2] + l_6[C_5 C_3 C_2 - S_5 C_4 S_3 C_2] + l_5 C_3 C_2 + \\
 &l_4 C_3 C_2 + l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 S_2 - C_6 S_5 S_3 S_2 - S_6 S_4 C_3 S_2] + l_6[-C_5 S_3 S_2 - S_5 C_4 C_3 S_2] - \\
 &l_5 S_3 S_2 - l_4 S_3 S_2 + l_3 S_2, l_7[-C_6 C_5 S_4 - S_6 C_4] + l_6 S_5 S_4, l_7[C_6 C_5 C_4 C_3 C_2 - C_6 S_5 S_3 C_2 - \\
 &S_6 S_4 C_3 C_2] + l_6[-C_5 S_3 C_2 - S_5 C_4 C_3 C_2] - l_5 S_3 C_2 - l_4 S_3 C_2 + l_3 C_2 + l_7[-C_6 C_5 C_4 S_3 S_2 - \\
 &C_6 S_5 C_3 S_2 + S_6 S_4 S_3 S_2] + l_6[-C_5 C_3 S_2 + S_5 C_4 S_3 S_2] - l_5 C_3 S_2 - l_4 C_3 S_2) = A_{10}.
 \end{aligned}$$

### Ciclo 6. Paso del sistema $S_1$ al sistema $S_0$

Desplazamiento de  $S_1$  una distancia  $l_2$  a lo largo del eje  $z'_0$ , desplazamiento  $l_1$  a lo largo del eje  $x_1$  hasta  $S_0$  y rotación con ángulo  $\theta_1$  alrededor del eje  $z_0$ .



$$\begin{aligned}
 A_{10} + T_2 + T_1 = & \\
 & (0, l_7[C_6C_5C_4S_3C_2 + C_6S_5C_3C_2 - S_6S_4S_3C_2] + l_6[C_5C_3C_2 - S_5C_4S_3C_2] + l_5C_3C_2 + \\
 & l_4C_3C_2 + l_7[C_6C_5C_4C_3S_2 - C_6S_5S_3S_2 - S_6S_4C_3S_2] + l_6[-C_5S_3S_2 - S_5C_4C_3S_2] - \\
 & l_5S_3S_2 - l_4S_3S_2 + l_3S_2 + l_1, l_7[-C_6C_5S_4 - S_6C_4] + l_6S_5S_4, l_7[C_6C_5C_4C_3C_2 - C_6S_5S_3C_2 - \\
 & S_6S_4C_3C_2] + l_6[-C_5S_3C_2 - S_5C_4C_3C_2] - l_5S_3C_2 - l_4S_3C_2 + l_3C_2 + l_7[-C_6C_5C_4S_3S_2 - \\
 & C_6S_5C_3S_2 + S_6S_4S_3S_2] + l_6[-C_5C_3S_2 + S_5C_4S_3S_2] - l_5C_3S_2 - l_4C_3S_2 + l_2) = A_{11}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sean } \Psi = & l_7[C_6C_5C_4S_3C_2 + C_6S_5C_3C_2 - S_6S_4S_3C_2] + l_6[C_5C_3C_2 - S_5C_4S_3C_2] + l_5C_3C_2 + \\
 & l_4C_3C_2 + l_7[C_6C_5C_4C_3S_2 - C_6S_5S_3S_2 - S_6S_4C_3S_2] + l_6[-C_5S_3S_2 - S_5C_4C_3S_2] - \\
 & l_5S_3S_2 - l_4S_3S_2 + l_3S_2 + l_1.
 \end{aligned}$$

$$\text{Sea } \Omega = l_7[-C_6C_5S_4 - S_6C_4] + l_6S_5S_4.$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sea } \Phi = & l_7[C_6C_5C_4C_3C_2 - C_6S_5S_3C_2 - S_6S_4C_3C_2] + l_6[-C_5S_3C_2 - S_5C_4C_3C_2] - l_5S_3C_2 - \\
 & l_4S_3C_2 + l_3C_2 + l_7[-C_6C_5C_4S_3S_2 - C_6S_5C_3S_2 + S_6S_4S_3S_2] + l_6[-C_5C_3S_2 + S_5C_4S_3S_2] - \\
 & l_5C_3S_2 - l_4C_3S_2 + l_2.
 \end{aligned}$$

$$Q_1A_{11}Q_1^* = (\ddot{C}_1, 0, 0, \ddot{S}_1)(0, \Psi, \Omega, \Phi)(\ddot{C}_1, 0, 0, -\ddot{S}_1),$$

$$Q_1A_{11} = (\ddot{C}_1, 0, 0, \ddot{S}_1)(0, \Psi, \Omega, \Phi) = (-\ddot{S}_1\Phi, -\ddot{S}_1\Omega + \ddot{C}_1\Psi, \ddot{S}_1\Psi + \ddot{C}_1\Omega, \ddot{C}_1\Phi) \text{ y}$$

$$\begin{aligned}
 & (-\ddot{S}_1\Phi, -\ddot{S}_1\Omega + \ddot{C}_1\Psi, \ddot{S}_1\Psi + \ddot{C}_1\Omega, \ddot{C}_1\Phi)(\ddot{C}_1, 0, 0, -\ddot{S}_1) = \\
 & (0, C_1\Psi - S_1\Omega, C_1\Omega + S_1\Psi, \Phi) = A_{12}.
 \end{aligned}$$

La parte vectorial del cuaternio puro  $A_{12}$  indica que el extremo del robot referido al sistema de su base  $S_0$ , está posicionado en



$$x = C_1\Psi - S_1\Omega =$$

$$l_7[C_6C_5C_4S_3C_2C_1 + C_6S_5C_3C_2C_1 - S_6S_4S_3C_2C_1 + C_6C_5S_4S_1 + S_6C_4S_1 + C_6C_5C_4C_3S_2C_1 - C_6S_5S_3S_2C_1 - S_6S_4C_3S_2C_1] + l_6[C_5C_3C_2C_1 - S_5C_4S_3C_2C_1 - S_5S_4S_1 - C_5S_3S_2C_1 - S_5C_4C_3S_2C_1] + l_5[C_3C_2C_1 - S_3S_2C_1] + l_4[C_3C_2C_1 - S_3S_2C_1] + l_3S_2C_1 + l_1C_1,$$

$$y = C_1\Omega + S_1\Psi =$$

$$l_7[C_6C_5C_4S_3C_2S_1 + C_6S_5C_3C_2S_1 - S_6S_4S_3C_2S_1 - C_6C_5S_4C_1 - S_6C_4C_1 + C_6C_5C_4C_3S_2S_1 - C_6S_5S_3S_2S_1 - S_6S_4C_3S_2S_1] + l_6[C_5C_3C_2S_1 - S_5C_4S_3C_2S_1 + S_5S_4C_1 - C_5S_3S_2S_1 - S_5C_4C_3S_2S_1] + l_5[C_3C_2S_1 - S_3S_2S_1] + l_4[C_3C_2S_1 - S_3S_2S_1] + l_3S_2S_1 + l_1S_1 \text{ y}$$

$$z = \Phi =$$

$$l_7[C_6C_5C_4C_3C_2 - C_6S_5S_3C_2 - S_6S_4C_3C_2 - C_6C_5C_4S_3C_2 - C_6S_5C_3C_2 + S_6S_4S_3C_2] + l_6[-C_5S_3C_2 - S_5C_4C_3C_2 - C_5C_3S_2 + S_5C_4S_3S_2] + l_5[-S_3C_2 - C_3S_2] + l_4[-S_3C_2 - C_3S_2] + l_3C_2 + l_2.$$

Estas expresiones matemáticas nos permitirán un conocimiento de la localización del extremo del robot que esta referido a la base en función de sus valores angulares de los ejes  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$  y sus dimensiones del robot, y se da la solución al problema cinemático directo. (E, 2003)



## MATALB

Se mostrará el potencial del modelado de robots industriales con eficiencia computacional. El modelo que se ha desarrollado anteriormente se validara en MATLAB.

MATLAB: Considerado como lenguaje de nivel alto , interactivo con la capacidad de desarrollar algoritmos en el área de la robótica.

Siendo el entorno de desarrollo y simulación de la cinemática directa.

Version utilizada es el R2012. (Jose M. S., 2014)

Características:

- Lenguaje de alto nivel
- Herramienta interactiva
- Funciones de matemáticas
- Graficador de funciones
- Simulink



## Caja de Herramientas TOOLBOX

Herramienta en Matlab donde se encuentra extensiones del tipo M-file.

Se cuenta con una caja de herramientas especializada como es el llamado ROBOTICS (Jose M. S., 2014) TOOLBOX for MATLAB:

- \* "quaternion", definición de cuaternios.
- \* "+", suma de cuaternios.
- \* "\*", producto de cuaternios.
- \* "inv", conjugado de cuaternios.
- \* "Q.v", parte vectorial del cuaternio.

## Código

El código esta realizado en Matlab: Modelo cinemático directo del robot KUKA

Primero establecemos parámetros iniciales del Robot KUKA.

```
%% POSICIÓN INICIAL clear
all
clc
% Vectores unitarios
i = [1, 0, 0]; j = [0, 1, 0]; k = [0, 0, 1]; n = [0, 0, 0]; % RANGOS EJES
% AXIS([XMIN XMAX YMIN YMAX ZMIN ZMAX])
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(i, n, n, 'm-') hold on

axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(n, j, n, 'g-') hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(n, n, k, 'B') hold on
```



✱ Se establecen los valores angulares en cero.

$$teta1 = 0; teta2 = 0; teta3 = 0; teta4 = 0; teta5 = 0; teta6 = 0;$$

✱ Se hacen las representaciones de las rotaciones.

$$\begin{aligned}
Q1 &= \text{quaternion}([\cos(teta1/2) \ 0 \ 0 \ \sin(teta1/2)]); \ CQ1 = \text{inv}(Q1); \\
Q2 &= \text{quaternion}([\cos(teta2/2) \ 0 \ \sin(teta2/2) \ 0]); \ CQ2 = \text{inv}(Q2); \\
Q3 &= \text{quaternion}([\cos(teta3/2) \ 0 \ \sin(teta3/2) \ 0]); \ CQ3 = \text{inv}(Q3); \\
Q4 &= \text{quaternion}([\cos(teta4/2) \ \sin(teta4/2) \ 0 \ 0]); \ CQ4 = \text{inv}(Q4); \\
Q5 &= \text{quaternion}([\cos(teta5/2) \ 0 \ \sin(teta5/2) \ 0]); \ CQ5 = \text{inv}(Q5); \\
Q6 &= \text{quaternion}([\cos(teta6/2) \ \sin(teta6/2) \ 0 \ 0]); \ CQ6 = \text{inv}(Q6);
\end{aligned}$$

✱ Se hacen las representaciones de las traslaciones.

$$\begin{aligned}
T0 &= \text{quaternion}([0 \ 0 \ 0 \ 0]); \ T1 = \text{quaternion}([0 \ 750 \ 0 \ 0]); \\
T2 &= \text{quaternion}([0 \ 0 \ 0 \ 700]); \ T3 = \text{quaternion}([0 \ 0 \ 0 \ 1250]); \\
T4 &= \text{quaternion}([0 \ 1000 \ 0 \ 0]); \ T5 = \text{quaternion}([0 \ 500 \ 0 \ 0]); \\
T6 &= \text{quaternion}([0 \ 230 \ 0 \ 0]); \ T7 = \text{quaternion}([0 \ 0 \ 0 \ 200]);
\end{aligned}$$

✱ A continuación se realiza el modelo desarrollado en el capítulo anterior.

%% CICLO 1. PASO DEL SISTEMA S6 AL SISTEMA S5

$$\begin{aligned}
A0 &= T7 + T0; \\
A1 &= Q6 * A0 * CQ6;
\end{aligned}$$

%% CICLO 2. PASO DEL SISTEMA S5 AL SISTEMA S4

$$\begin{aligned}
A2 &= A1 + T6; \\
A3 &= Q5 * A2 * CQ5;
\end{aligned}$$

%% CICLO 3. PASO DEL SISTEMA S4 AL SISTEMA S3

$$\begin{aligned}
A4 &= A3 + T5; \\
A5 &= Q4 * A4 * CQ4;
\end{aligned}$$

%% CICLO 4. PASO DEL SISTEMA S3 AL SISTEMA S2

$$\begin{aligned}
A6 &= A5 + T4; \\
A7 &= Q3 * A6 * CQ3;
\end{aligned}$$

%% CICLO 5. PASO DEL SISTEMA S2 AL SISTEMA S1

$$\begin{aligned}
A8 &= A7 + T3; \\
A9 &= Q2 * A8 * CQ2;
\end{aligned}$$

%% CICLO 6. PASO DEL SISTEMA S1 AL SISTEMA S0

$$\begin{aligned}
A10 &= A9 + T2 + T1; \\
A11 &= Q1 * A10 * CQ1;
\end{aligned}$$



\* Ahora se definen las posiciones de cada sistema referido a la base del robot  $S_0$  (ver Figura 3.3).

*%%ESLABÓN 1 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$B1 = T2 + T1;$$

$$B2 = Q1 * B1 * CQ1;$$

*%%ESLABÓN 2 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$C1 = Q2 * T3 * CQ2;$$

$$C2 = C1 + T2 + T1;$$

$$C3 = Q1 * C2 * CQ1;$$

*%%ESLABÓN 3 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$D1 = Q3 * T4 * CQ3;$$

$$D2 = D1 + T3;$$

$$D3 = Q2 * D2 * CQ2;$$

$$D4 = D3 + T2 + T1;$$

$$D5 = Q1 * D4 * CQ1;$$

*%%ESLABÓN 4 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$E1 = Q4 * T5 * CQ4;$$

$$E2 = E1 + T4;$$

$$E3 = Q3 * E2 * CQ3;$$

$$E4 = E3 + T3;$$

$$E5 = Q2 * E4 * CQ2;$$

$$E6 = E5 + T2 + T1;$$

$$E7 = Q1 * E6 * CQ1;$$

*%%ESLABÓN 5 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$F1 = Q5 * T6 * CQ5;$$

$$F2 = F1 + T5;$$

$$F3 = Q4 * F2 * CQ4;$$

$$F4 = F3 + T4;$$

$$F5 = Q3 * F4 * CQ3;$$

$$F6 = F5 + T3;$$

$$F7 = Q2 * F6 * CQ2;$$

$$F8 = F7 + T2 + T1;$$

$$F9 = Q1 * F8 * CQ1;$$



*%%ESLABÓN 6 DEL MODELO CINEMÁTICO*

$$A1 = Q6 * T7 * CQ6;$$

$$A2 = A1 + T6;$$

$$A3 = Q5 * A2 * CQ5;$$

$$A4 = A3 + T5;$$

$$A5 = Q4 * A4 * CQ4;$$

$$A6 = A5 + T4;$$

$$A7 = Q3 * A6 * CQ3;$$

$$A8 = A7 + T3;$$

$$A9 = Q2 * A8 * CQ2;$$

$$A10 = A9 + T2 + T1;$$

$$A11 = Q1 * A10 * CQ1;$$

\* Se definen los vectores correspondientes a cada eje, para luego graficarlos.

$$V1=B2.v; V2=C3.v; V3=D5.v; V4=E7.v; V5=F9.v; V6=A11.v;$$

*% Primer vector*

$$X=[0 V1(1)]; Y=[0 V1(2)]; Z=[0 V1(3)];$$

*% Segundo Vector*

$$X1=[V1(1) V2(1)]; Y1=[V1(2) V2(2)]; Z1=[V1(3) V2(3)];$$

*% Tercer vector*

$$X2=[V2(1) V3(1)]; Y2=[V2(2) V3(2)]; Z2=[V2(3) V3(3)];$$

*% Cuarto vector*

$$X3=[V3(1) V4(1)]; Y3=[V3(2) V4(2)]; Z3=[V3(3) V4(3)];$$

*% Quinto vector*

$$X4=[V4(1) V5(1)]; Y4=[V4(2) V5(2)]; Z4=[V4(3) V5(3)];$$

*% Sexto vector*

$$X5=[V5(1) V6(1)];$$

$$Y5=[V5(2) V6(2)]; Z5=[V5(3) V6(3)];$$



\* Con los vectores definidos, se establecen los parámetros para la graficación.

*hold on*

```
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(X,Y,Z,'ro-','LineWidth',3)
```

*hold on*

```
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(X1,Y1,Z1,'bo-','LineWidth',3)
```

*hold on*

```
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(X2,Y2,Z2,'go-','LineWidth',3)
```

*hold on*

```
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(X3,Y3,Z3,'mo-','LineWidth',3)
```

*hold on*

```
plot3(X4,Y4,Z4,'y-','LineWidth',3)
```

*hold on*

```
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(X5,Y5,Z5,'k+-','LineWidth',3)
```

```
title('MODELO DE CINEMÁTICA DIRECTA DEL';'ROBOT KR 120-2P CUATER-  
NIOS','FontSize',14,'Color','k','EdgeColor','k')
```

```
xlabel('eje X','FontSize',16,'Color','B')
```

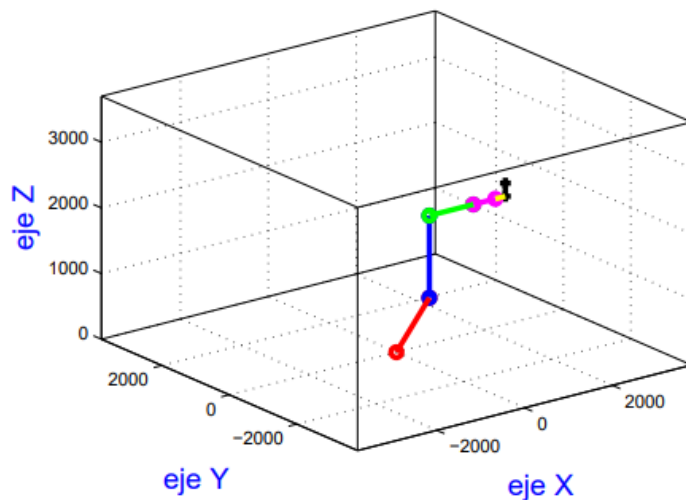
```
ylabel('eje Y','FontSize',16,'Color','B')
```

```
zlabel('eje Z','FontSize',16,'Color','B')
```

```
grid on
```

```
box on
```

**Figura 17 Modelo de la cinemática del Robot KUKA en Matlab**



Debemos definir en el modelo:

Valores de los ángulos de cada eje, realizar el movimiento de sus articulaciones desde el inicio hasta el final. (Jose M. S., 2014)

Se muestra el algoritmo para cada punto.

```
while(A1>185 || A1<-185)
disp(' Eje 1. El ángulo debe estar entre [-185,185]')
A1=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 1 ');
A1=round(A1);
if(A1>185 || A1<-185)
disp(' ') end end disp(' ')
```

```
while(A2 > 70 || A2 < -120)
disp(' Eje 2. El ángulo debe estar entre [-120,70]')
A2=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 2 ');
A2=round(A2);
if(A2 > 70 || A2 < -120)
disp(' ') end end disp(' ')
```



```
while(A3 > 65 || A3 < -209) disp(' Eje 3. El ángulo debe estar entre [-209,65]')
A3=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 3 ');
A3=round(A3);
if(A3 > 65 || A3 < -209)
disp(' ') end end disp(' ')
```

```
while(A4 > 350 || A4 < -350)
disp(' Eje 4. El ángulo debe estar entre [-350,350]')
A4=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 4 ');
A4=round(A4);
if(A4 > 350 || A4 < -350)
disp(' ') end end disp(' ')
```

```
while(A5 > 125 || A5 < -125)
disp(' Eje 5. El ángulo debe estar entre [-125,125]')
A5=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 5 ');
A5=round(A5);
if(A5 > 125 || A5 < -125)
disp(' ')
end end disp(' ')
```

```
while(A6 > 350 || A6 < -350)
disp(' Eje 6. El ángulo debe estar entre [-350,350]')
A6=input(' Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 6 ');
A6=round(A6);
if(A6 > 350 || A6 < -350)
disp(' ') end end disp(' ')
```



Continuamos con el modelo cinemático directo.

```
Ani=input(' Simular, presione ENTER ');%% Orden para iniciar la simulación.
```

```
teta1=((A1*pi)/180);  
teta2=((A2*pi)/180);  
teta3=((A3*pi)/180);  
teta4=((A4*pi)/180);  
teta5=((A5*pi)/180);  
teta6=((A6*pi)/180);
```

```
i=[1,0,0]; j=[0,1,0]; k=[0,0,1]; n=[0,0,0]; axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
```

```
plot3(i,n,n,'m-') hold on  
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])  
plot3(j,n,n,'g-') hold on  
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])  
plot3(k,n,n,'B') hold on
```

```
Q1=quaternion([cos(teta1/2) 0 0 sin(teta1/2)]); CQ1=inv(Q1);  
Q2=quaternion([cos(teta2/2) 0 sin(teta2/2) 0]); CQ2=inv(Q2);  
Q3=quaternion([cos(teta3/2) 0 sin(teta3/2) 0]); CQ3=inv(Q3);  
Q4=quaternion([cos(teta4/2) sin(teta4/2) 0 0]); CQ4=inv(Q4);  
Q5=quaternion([cos(teta5/2) 0 sin(teta5/2) 0]); CQ5=inv(Q5);  
Q6=quaternion([cos(teta6/2) sin(teta6/2) 0 0]); CQ6=inv(Q6);
```

```
T0=quaternion([0 0 0 0]);  
T1=quaternion([0 750 0 0]);  
T2=quaternion([0 0 0 700]);  
T3=quaternion([0 0 0 1250]);  
T4=quaternion([0 1000 0 0]);  
T5=quaternion([0 500 0 0]);  
T6=quaternion([0 230 0 0]);  
T7=quaternion([0 0 0 200]);
```



$$\begin{aligned} B1 &= T2 + T1; B2 = Q1 * B1 * CQ1; \\ C1 &= Q2 * T3 * CQ2; C2 = C1 + T2 + T1; \\ C3 &= Q1 * C2 * CQ1; \\ D1 &= Q3 * T4 * CQ3; D2 = D1 + T3; \\ D3 &= Q2 * D2 * CQ2; D4 = D3 + T2 + T1; \\ D5 &= Q1 * D4 * CQ1; \\ E1 &= Q4 * T5 * CQ4; E2 = E1 + T4; \\ E3 &= Q3 * E2 * CQ3; E4 = E3 + T3; \\ E5 &= Q2 * E4 * CQ2; E6 = E5 + T2 + T1; \\ E7 &= Q1 * E6 * CQ1; \\ F1 &= Q5 * T6 * CQ5; F2 = F1 + T5; \\ \\ F3 &= Q4 * F2 * CQ4; F4 = F3 + T4; \\ F5 &= Q3 * F4 * CQ3; F6 = F5 + T3; \\ F7 &= Q2 * F6 * CQ2; F8 = F7 + T2 + T1; \\ F9 &= Q1 * F8 * CQ1; \\ G1 &= Q6 * T7 * CQ6; G2 = G1 + T6; \\ G3 &= Q5 * G2 * CQ5; G4 = G3 + T5; \\ G5 &= Q4 * G4 * CQ4; G6 = G5 + T4; \\ G7 &= Q3 * G6 * CQ3; G8 = G7 + T3; \\ G9 &= Q2 * G8 * CQ2; G10 = G9 + T2 + T1; \\ G11 &= Q1 * G10 * CQ1; \end{aligned}$$



$V1=B2.v; V2=C3.v; V3=D5.v; V4=E7.v; V5=F9.v; V6=G11.v;$

$X=[0 V1(1)]; Y=[0 V1(2)]; Z=[0 V1(3)];$   
 $X1=[V1(1) V2(1)]; Y1=[V1(2) V2(2)]; Z1=[V1(3) V2(3)];$   
 $X2=[V2(1) V3(1)]; Y2=[V2(2) V3(2)]; Z2=[V2(3) V3(3)];$   
 $X3=[V3(1) V4(1)]; Y3=[V3(2) V4(2)]; Z3=[V3(3) V4(3)];$   
 $X4=[V4(1) V5(1)]; Y4=[V4(2) V5(2)]; Z4=[V4(3) V5(3)];$   
 $X5=[V5(1) V6(1)]; Y5=[V5(2) V6(2)]; Z5=[V5(3) V6(3)];$

*hold on*

```

axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X,Y,Z,'ro-','LineWidth',3) hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X1,Y1,Z1,'bo-','LineWidth',3) hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X2,Y2,Z2,'go-','LineWidth',3) hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X3,Y3,Z3,'mo-','LineWidth',3) hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X4,Y4,Z4,'y-','LineWidth',3) hold on
axis([-3800 3800 -3800 3800 0 3700])
plot3(X5,Y5,Z5,'k+-','LineWidth',3)

```

```

title('MODELO CINEMÁTICO DIRECTO DEL;ROBOT KR 120-2P CUATER-
NIOS','FontSize',14,'Color','k','EdgeColor','k')
xlabel('eje x','FontSize',16,'Color','B')
ylabel('eje y','FontSize',16,'Color','B')
zlabel('eje z','FontSize',16,'Color','B')
grid on
box on
disp('Fin')

```



Ejecutamos el archivo M-file con su respectivo código:

*Robot KR 120-2P.*

*Ingrese los valores angulares de cada eje  
para hacer su simulación, se verifica gráficamente.  
Modelo Cinemático Directo Cuaternios robot .*

*El ángulo debe estar entre [-185,185]  
Digite el valor del ángulo correspondiente al Eje 1*

## CAPÍTULO V

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 5.1. RESULTADOS

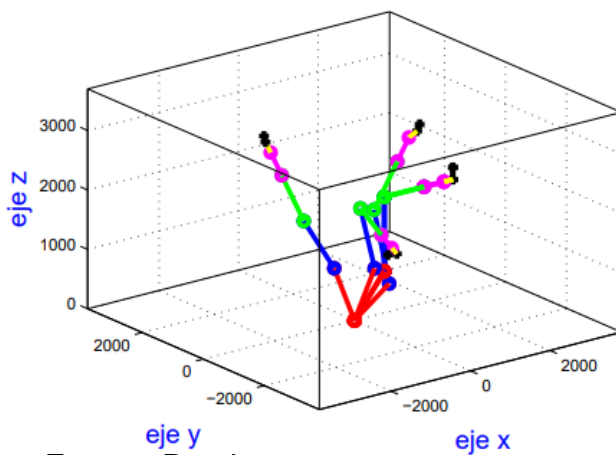
##### 5.5.1. MAPEO

Se muestra el modelo de la cinemática directa

Mapeo de posición de los angulos:

1.  $A_1 = 0^\circ, A_2 = 0^\circ, A_3 = 0^\circ, A_4 = 0^\circ, A_5 = 0^\circ, A_6 = 0^\circ$ .
2.  $A_1 = 20^\circ, A_2 = -25^\circ, A_3 = 64^\circ, A_4 = 210^\circ, A_5 = 2^\circ, A_6 = 45^\circ$ .
3.  $A_1 = 85^\circ, A_2 = 65^\circ, A_3 = -100^\circ, A_4 = 50^\circ, A_5 = 1^\circ, A_6 = 280^\circ$ .
4.  $A_1 = -60^\circ, A_2 = -15^\circ, A_3 = -45^\circ, A_4 = -12^\circ, A_5 = 25^\circ, A_6 = 300^\circ$ .

*Figura 18 Mapeo de la posición de movimiento - KUKA*



Fuente: Propia

\* Mapeo de posición para los ángulos:

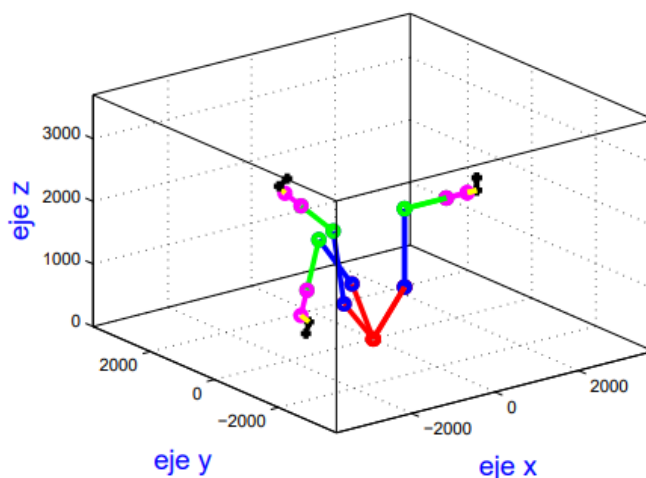
1.  $A_1 = 0^\circ, A_2 = 0^\circ, A_3 = 0^\circ, A_4 = 0^\circ, A_5 = 0^\circ, A_6 = 0^\circ$ .
2.  $A_1 = -175^\circ, A_2 = 13^\circ, A_3 = -47^\circ, A_4 = -32^\circ, A_5 = -8^\circ, A_6 = -1^\circ$ .
3.  $A_1 = 85^\circ, A_2 = 70^\circ, A_3 = -5^\circ, A_4 = 349^\circ, A_5 = 100^\circ, A_6 = -15^\circ$ .

En modo grafico:

Robot KUKA y su modelado de cinemática directa y lograr la interacción con el usuario al ejecutar el código.

Debemos de manejar tres ventanas de forma individual para realizar la simulaciones.

**Figura 19 Mapeo de Posición 2 - KUKA**



Fuente: Propia

Se cuenta con una interfaz grafica con el usuario que le permite realizar otras simulaciones y con la posibilidad de restaurar a los parametros iniciales.

La grafica anterior nos muestra la interfaz con el usuario cuando lo ejecuta.

Se muestra la interfaz grafica con el usuario que ejecuta con sus datos correspondientes.

Se presenta el movimiento de  $100^\circ$  del eje 1.

Presentamos el mapeo del movimiento múltiple del eje 1 con sus valores angulares correspondientes a :  $0^\circ, 50^\circ, 100^\circ, -50^\circ, -100^\circ$ .

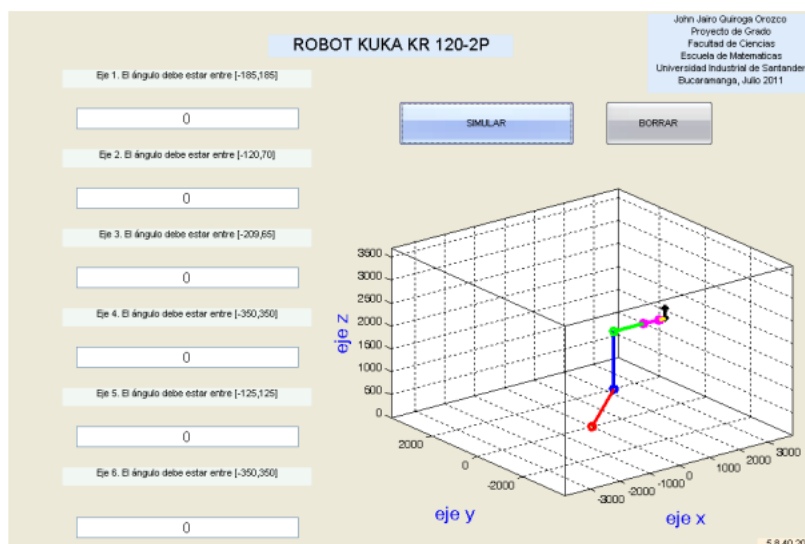
En la imagen se observa:

Observamos el grafico con el valor de  $-100^\circ$

Se presenta también con múltiples del eje 2 con valores angulares:  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ .

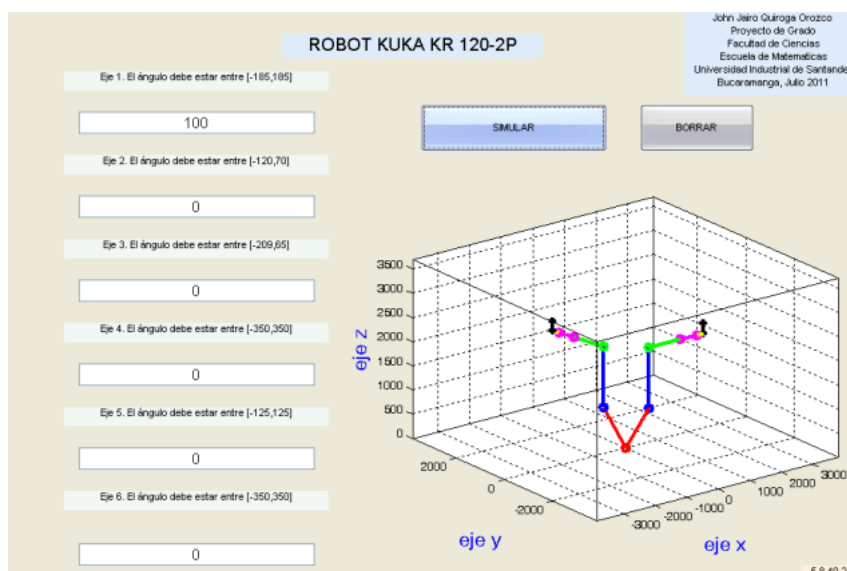
Finalmente se muestran todos los ejes.

**Figura 20 GUI - KUKA**

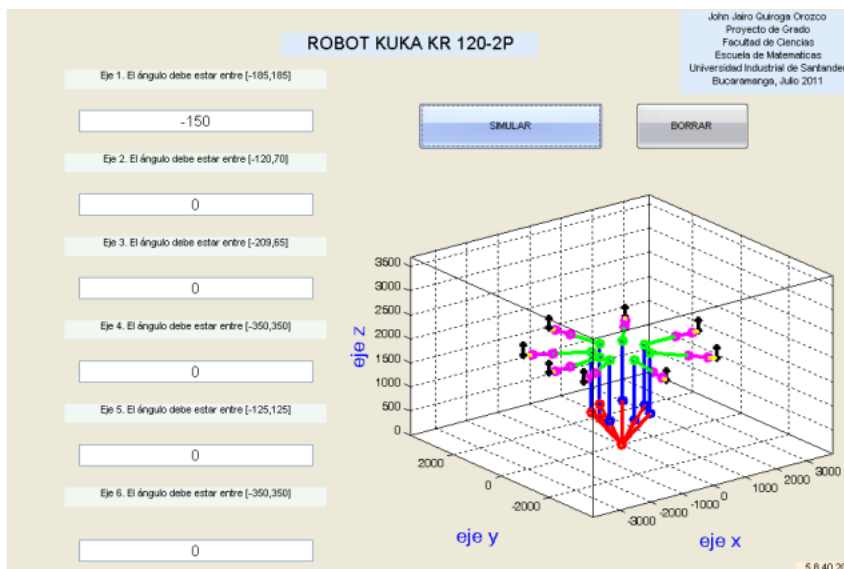


**Fuente: Propia**

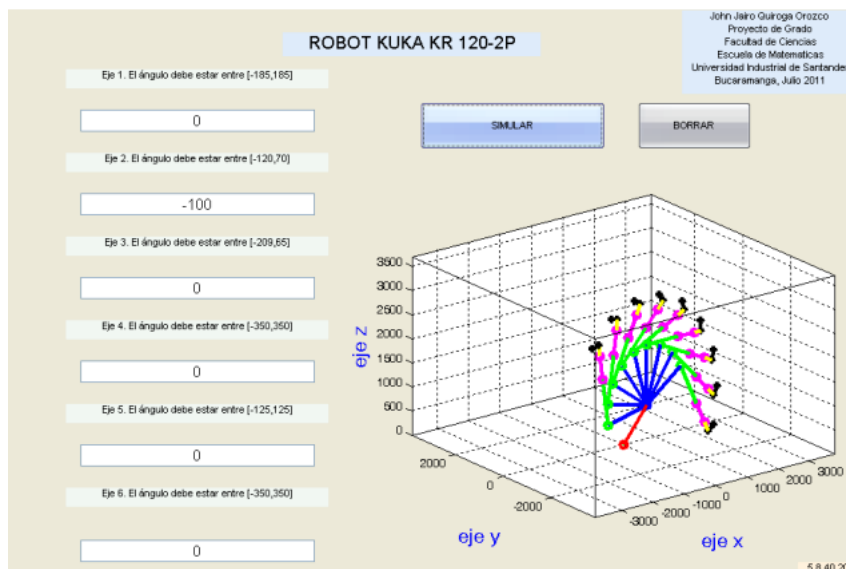
**Figura 21 Movimiento KUKA**



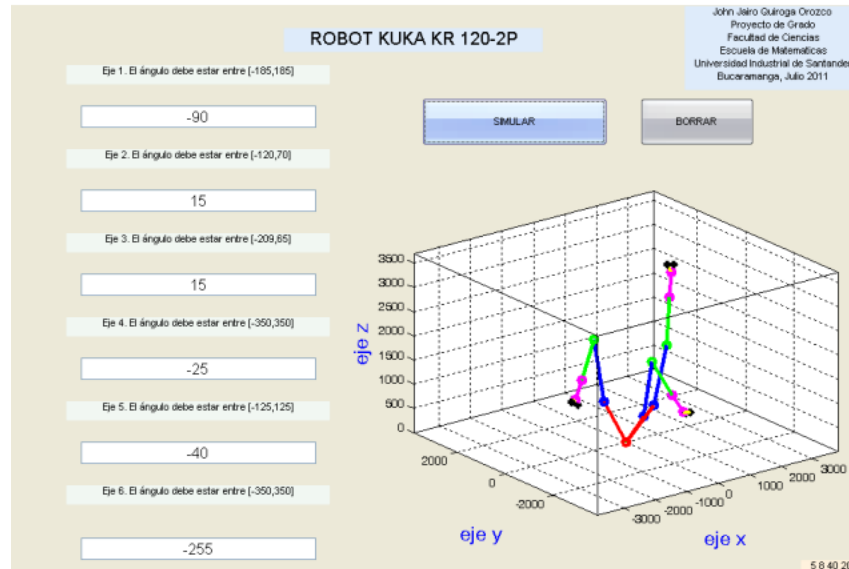
### Figura 22 Movimientos múltiples del EJE - KUKA



### Figura 23 Mapeo de movimiento de eje - KUKA



**Figura 24 Movimientos múltiples de eje 02 - KUKA**



- Se demostró que para el espacio vectorial  $\mathbb{R}^3$ , los cuaternios  $Q, Q^* \in H(\mathbb{R})$  expresado por (3.9) y  $\vec{v} \in \mathbb{R}^3$ . La función

$$L_q : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$\vec{v} \rightarrow L_q(\vec{v}) = Q(0 + \vec{v})Q^*$$

es una transformación lineal y define la rotación del vector  $\vec{v}$  un ángulo  $2\theta$  alrededor del vector  $\vec{q}$ .

- Se desarrolló el modelo cinemático directo del robot KUKA KR120-2P® utilizando el operador de transformación de rotación de cuaternios, obteniendo que

$$x = C_1\Psi - S_1\Omega =$$

$$l_7[C_6C_5C_4S_3C_2C_1 + C_6S_5C_3C_2C_1 - S_6S_4S_3C_2C_1 + C_6C_5S_4S_1 + S_6C_4S_1 +$$

$$C_6C_5C_4C_3S_2C_1 - C_6S_5S_3S_2C_1 - S_6S_4C_3S_2C_1] + l_6[C_5C_3C_2C_1 - S_5C_4S_3C_2C_1 -$$

$$S_5S_4S_1 - C_5S_3S_2C_1 - S_5C_4C_3S_2C_1] + l_5[C_3C_2C_1 - S_3S_2C_1] + l_4[C_3C_2C_1 -$$

$$S_3S_2C_1]l_3S_2C_1 + l_1C_1.$$

$$y = C_1\Omega + S_1\Psi =$$
$$l_7[C_6C_5C_4S_3C_2S_1 + C_6S_5C_3C_2S_1 - S_6S_4S_3C_2S_1 - C_6C_5S_4C_1 - S_6C_4C_1 +$$
$$C_6C_5C_4C_3S_2S_1 - C_6S_5S_3S_2S_1 - S_6S_4C_3S_2S_1] + l_6[C_5C_3C_2S_1 - S_5C_4S_3C_2S_1$$
$$+ S_5S_4C_1 - C_5S_3S_2S_1 - S_5C_4C_3S_2S_1] + l_5[C_3C_2S_1 - S_3S_2S_1] + l_4[C_3C_2S_1 -$$
$$S_3S_2S_1] + l_3S_2S_1 + l_1S_1.$$

$$z = \Phi =$$
$$l_7[C_6C_5C_4C_3C_2 - C_6S_5S_3C_2 - S_6S_4C_3C_2 - C_6C_5C_4S_3C_2 - C_6S_5C_3C_2 +$$
$$S_6S_4S_3C_2] + l_6[-C_5S_3C_2 - S_5C_4C_3C_2 - C_5C_3S_2 + S_5C_4S_3S_2] + l_5[-S_3C_2 -$$
$$C_3S_2] + l_4[-S_3C_2 - C_3S_2] + l_3C_2 + l_2.$$

donde  $(x, y, z)$  son las coordenadas del extremo del robot referidas a la base del robot ( $S_0$ )

- En los gráficos se evidencia la validación del modelo cinemático directo realizado al robot en cuestión, al ser mapeados distintos valores angulares para cada articulación.
- Se desarrolló una interfaz gráfica que integra la programación hecha sobre el modelo cinemático directo del robot KUKA, que se muestra en las Figuras
- Se complementa una propuesta de innovación en el aula para la enseñanza y el aprendizaje de transformaciones lineales en un curso de álgebra lineal, apoyado en la ejecución de trabajos por proyectos, en la modelación del robot

**Figura 25 KUKA – ING. MECATRONICA**



*Figura 26 Robot KUKA en cinemática directa*



*Figura 27 Robot KUKA en Laboratorio de Ing Mecatronica*



*Figura 28 ROBOT KUKA en movimiento eje X*



*Figura 29 Robot KUKA en movimiento eje Z*





## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- PRIMERA** Se logro realizar el modelamiento del problema de la cinemática directa del robot KUKA aplicando su matriz de transformación homogénea.
- SEGUNDA.** Se logro realizar la cinemática directa del robot KUKA aplicando la metodología MATLAB.
- TERCERA** Se logro obtener el modelamiento de la cinemática directa en MATLAB aplicando el toolbox de robótica y con sus resultados gráficos.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA** Se recomienda realizar más aplicaciones en robótica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A, B. (2005). *Manipuladores y robots móviles*. Bogota: Marcombo.
- ABB, O. S. (2010). *ABB ROBOTIC. Manual del operador*. Filadelfia: ABB.
- Aparicio Gonzales & Orjuela Parra J. (2005). *Control para un brazo de robot colocado sobre una plataforma móvil*. Bogota: Javeriana.
- Barrientos A., Peñin L & Balaguer C. (2007). *Fundamentos de Robotica*. Mexico: Mc Graw-Hill.
- Braun, A. (2007). *Fundamentos de Robotica*. España: McGraw.
- Cavala, J. (2007). *Modelamiento y Diseño de Robots Industriales*. Colombia: UNISALLE.
- E, O. (2003). *Modelacion cinematica de posicionamiento de un robot*. Mexico: UNAM.
- E.J., L. (2002). *Cuaternarios de DH*. Santander: Person.
- FU, K. (2014). *Robotica control, deteccion, vision e inteligencia*. Madrid: Mc Graw Hill.
- J, A. D. (2008). *Estudio y modelameinto del robot KUKA*. Antioquia: IUA.
- J, G. d. (Automatizacion de procesos industriales). 2012. 2012: UPV/EHU.
- J, O. C. (2009). *Una introduccion a la Robotica Industrial*. Hernandez: BELLO.
- Jose, M. (2013). *Diseño del control de un robot de dos grados de libertad en objetos*. Libertad: PUE.
- Jose, M. S. (2014). *Simulacion, Control cinematica de robots comerciales usando Matlab "Robotic Toolbox"*. Madrid: VALLAD.
- L, M. L. (2014). *Diseño y control multivarialbe de un robot de dos grados de libertad*. Perira: UTP.
- M, B. (2015). *Diseño y ensayo de un Robot automatico*. Madrid: Aval\_upcm.



M, T. (2005). *Aplicacion software apra un brazo robotico usando un modelo geometrico* .

Mexico: SANDER.

Marcelo, A. G. (2012). *Control de un Brazo Robot sobre plataforma movil*. Madrid: UPVJ.

Mikell, G. (2000). *Robotica Industrial Tecnologica, programacion y aplicaciones*. Mexico:

Person.

R, K. (2013). *Control de movimiento de robots manipuladores*. Bogota: Person.

Ramirez J. & Rubiano A. (2012). *Modelamiento matematico de la cinematica directa e*

*inversa de un robot manipulador de tres grados de libertad*. Libertad: SOL\_IA.

Rodriguez, J. W. (2015). *Diseño de un Robot cartesiano para clasificacion de piezas*.

Madrid: Person.



## ANEXOS



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 09/09/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RAFAEL PARI COILA

Dirección: JR: CHILAYO N° 146 - Bella Vista

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 41694411

Teléfono: 958 243389 email: ninja\_660@hotmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA MECATRONICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECATRONICO

Asesor: ABGLARDO LEÓN MIRANDA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANALISIS Y MODELAMIENTO DE LA CINEMATICA DIRECTA

APLICADO AL ROBOT KUKA KR150 POR MATLAB

Palabras claves, (3 a 5 términos): ROBOTICA, CINEMATICA, MODELAMIENTO

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?

1, 2,

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: tecnología DE LA INSTRUMENTACIÓN - P21

  
Firma de Autor



huella digital

09 de ABRIL 2024

Fecha