

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un séptimo grado de libertad en forma de plataforma giratoria externa al robot Kawasaki RS03N usado en la parte práctica de la materia Introducción a la Robótica Industrial

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y
Automatización Industrial**

Presentado por:

Saulo Leonardo Tapia Mora

Ángel Neptalí García Sellán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedicamos a mis compañeros y compañeras de semestres inferiores, para que puedan servirse de este y más trabajos que se desarrollarán en beneficio de la comunidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, a nuestras familias y a las amistades que con su apoyo y colaboración en cada semestre nos permitieron llegar hasta el final de la carrera.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Saulo Leonardo Tapia Mora y Ángel Neptalí García Sellán* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Saulo Leonardo Tapia
Mora

Ángel Neptalí García
Sellán

EVALUADORES

Ing. Alberto Damián Larco Gómez

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Ángel Domingo Sappa

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El mundo de la robótica industrial se ha desarrollado considerablemente en el sector industrial debido a que se lo puede ubicar en diversos espacios de trabajo, aplicaciones y entornos ambientales. El laboratorio de Control de Procesos Industriales de la ESPOL cuenta con el robot Kawasaki RS03N, el objetivo del proyecto es implementar un séptimo grado de libertad al robot, para lograr un mayor alcance en su espacio de trabajo. Con el grado de libertad añadido no se verán afectadas las funciones que realiza actualmente, sino más bien desarrollarán tareas más complejas.

Los materiales usados son: robot Kawasaki RS03N, software de simulación RoboDK, plato giratorio de madera, mesa graduable, motor, teach pendant, panel de operaciones.

Realizadas las simulaciones del robot junto con la plataforma giratoria se pudo observar los diferentes problemas de colisión que presentaba y se los resolvió confirmando el diseño y pasando a su construcción.

Al realizar la simulación de la aplicación de impresión en tres dimensiones con el entorno del laboratorio de Control de Procesos Industriales se evidencia una lentitud en su ejecución y esto es debido a la alta demanda de procesamiento que requiere el software.

En la construcción de la plataforma se diseñó una mesa para su soporte, en la cual se puede ajustar la altura, esto ayudará que la sincronización se lleve a cabo sin problemas.

Usamos la tarjeta Arduino UNO R3 para realizar la comunicación y el control del motor de la plataforma externa.

Palabras Clave: espacio de trabajo; eje externo; plataforma; RoboDK; séptimo grado de libertad.

ABSTRACT

The world of industrial robotics has developed considerably in the industrial sector because it can be located in various workspaces, applications and environmental environments. ESPOLI's Industrial Process Control Laboratory features the Kawasaki RS03N robot, the goal of the project is to implement a seventh degree of freedom to the robot to achieve greater reach in its workspace. With the degree of freedom added the functions it currently performs will not be affected, but rather will develop more complex tasks.

The materials used are: Kawasaki RS03N robot, RoboDK simulation software, wooden turntable, adjustable table, motor, teach pendant, operations panel.

The simulations of the robot were carried out together with the rotating platform, we could observe the different collision problems it presented and resolved them by confirming the design and moving on to its construction.

Simulating the three-dimensional printing application with the environment of the Industrial Process Control Laboratory there is evidence of a slowness in its execution and this is due to the high demand for processing required by the software.

In the construction of the platform a table was designed for its support, in which the height can be adjusted, this will help the synchronization to be carried out without problems.

We use the Arduino UNO R3 card to carry out communication and control of the external platform engine

Keywords: workspace; external hub; platform; RoboDK; seventh degree of freedom.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Espacio de trabajo	3
1.4.2 Grados de libertad.....	4
1.4.3 Software de simulación	5
1.4.4 Controlador	6
1.4.5 Especificaciones del panel de operaciones	7
1.4.6 Especificaciones del robot.....	8
1.4.7 Aplicaciones.....	11
1.4.8 Diagrama de comunicación.....	11
CAPÍTULO 2	12

2.	Metodología	12
2.1	Diagrama de bloques.....	12
2.1.1	Plataforma lineal externa.....	13
2.1.2	Robot sobre una plataforma lineal.....	13
2.1.3	Plataforma giratoria externa	13
2.2	Metodología del trabajo	13
2.2.1	Construcción del entorno y plataforma giratoria	13
2.2.2	Simulación de la sincronización del robot con el eje externo.....	17
2.2.3	Implementación de la Comunicación y sincronización.....	23
CAPÍTULO 3		28
3.	Resultados Y ANÁLISIS	28
3.1	Resultados de simulación.....	28
3.2	Resultados de la implementación	31
3.2.1	Comunicación y sincronización	31
CAPÍTULO 4		36
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	36
Conclusiones.....		36
Recomendaciones.....		36
BIBLIOGRAFÍA		38
APÉNDICES.....		39

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
TP	Teach Pendant
PC	Personal Computer
DOF	Degree Of Freedom (Grados de libertad)
Kg	Kilogramo
cm	Centímetro
V	Voltaje
A	Amperaje
DC	Direct Current (Corriente Directa)
Db	Date bus (Bus de datos)

SIMBOLOGÍA

mil Milésima de pulgada

m Metro

cm Centímetro

mm Milímetro

mV Milivoltio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Espacio de trabajo del brazo robótico [1]	4
Figura 1.2 Ejes perpendiculares y seis grados de libertad: adelante/atrás (forward/back), arriba/abajo (up/down), izquierda/derecha (left/right), cabecear (pitch), guiñar (yaw), rodar (roll) [2]	4
Figura 1.3 Brazo robótico con seis grados de libertad [2]	5
Figura 1.4 Controlador del Robot Kawasaki RS03N [3]	6
Figura 1.5 Interfaz del panel de operaciones [4]	7
Figura 1.6 Rango de trabajo del Robot Kawasaki RS03N [3].....	10
Figura 1.7 Diagrama de comunicación del sistema.....	11
Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema.....	12
Figura 2.2 Entorno del laboratorio de control de procesos industriales	14
Figura 2.3 Diseño en tres dimensiones de la mesa de soporte.....	15
Figura 2.4 Diseño del eje externo o plataforma giratoria en FreeCAD.	16
Figura 2.5 Vista superior del eje externo o plataforma giratoria en FreeCAD.....	16
Figura 2.6 Diseño de la herramienta de trabajo	17
Figura 2.7 Colocación del sistema de referencia en la plataforma giratoria	18
Figura 2.8 Selección de la opción "Modelizar Mecanismo o Robot"	19
Figura 2.9 Construcción/-modificación del mecanismos o robots.....	20
Figura 2.10 Sincronización de ejes externos	21
Figura 2.11 Ventana de sincronización ejes externos	22
Figura 2.12 Controlador del robot F60 Controller vista frontal.....	23
Figura 2.13 Vista posterior del controlador F60 del robot RS03N, están encerrados en color rojo los terminales XRSIG y XGPIO [6]	24
Figura 2.14 Planta IMS11 que comunica al controlador del robot con la planta Lucas Nüelle, de derecha a izquierda las flechas señalan las borneras identificadas como - X1 -X2 y -X3	25
Figura 2.15 Bus de Datos de 25 pines de la bornera -X3, se especifica los pines a utilizar.....	26
Figura 2.16 Código de prueba en Arduino	27

Figura 3.1 Presentación del nuevo grado de libertad externo en forma de plataforma giratoria con el entorno de trabajo.....	28
Figura 3.2 Dibujo vectorizado de la mitad de un engranaje	29
Figura 3.3 Dibujo con la herramienta de taladro con la plataforma giratoria	30
Figura 3.4 Dibujo con la herramienta de taladro con la plataforma giratoria	30
Figura 3.5 Resultado parcial del modelizado del engranaje.....	31
Figura 3.6 Resultado final del modelizado del engranaje.....	32
Figura 3.7 Fuente, driver de motor de pasos, placa Arduino UNO y placa de adecuación de nivel de voltaje.....	33
Figura 3.8 Robot Kawasaki RS03N junto con la plataforma giratoria externa como grado de libertad vista de frente	34
Figura 3.9 Robot Kawasaki RS03N junto con la plataforma giratoria externa como grado de libertad vista de lado.....	35
Figura 4.1 Estructura de la mesa metálica.....	39
Figura 4.2 Mesa para ajustar la altura de la plataforma giratoria	40
Figura 4.3 Altura desde el suelo hasta la mesa que sostiene al robot Kawasaki RS03N	40
Figura 4.4 Fuente de poder	41
Figura 4.5 Motor de pasos Nema 23 y driver de motor HY-DIV268N-5.....	42
Figura 4.6 Engranaje para reducción de vueltas.....	42
Figura 4.7 Lámina circular de alucobond	43
Figura 4.8 Tarjeta Arduino Uno [8].....	44
Figura 4.9 Diseño del circuito en el software Proteus	45
Figura 4.10 Diseño del circuito impreso	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Componentes del controlador	6
Tabla 1.2 Panel de operaciones [4]	7
Tabla 1.3 Componentes del robot [4]	8

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el Laboratorio de Control de Procesos Industriales se cuenta actualmente con la planta de envasado y vaciado de un pallet de botellas Lucas Nülle IPA 26 y con el brazo robótico Kawasaki RS03N que presenta un espacio de trabajo, definido como el entorno donde el robot puede trabajar, de 620 x 700 cm de altura, con una rotación de su primer eje de $\pm 160^\circ$.

El presente trabajo se refiere al uso extendido del brazo robótico usado por los estudiantes de la materia Introducción a la Robótica Industrial en su componente práctico.

Como uso extendido se implementará una plataforma giratoria externa que será manipulada por el controlador del robot. Para que este genere alguna acción se pasará a crear un código de simulación en lenguaje Python en donde se especifique qué trabajo realizará el robot. Con esto se planea extender el espacio de trabajo del robot y desarrollar nuevas aplicaciones en el área de robótica industrial que estarán disponibles para el uso de los estudiantes.

Para dar inicio con el desarrollo del proyecto, primero se crea una simulación donde se diseña el entorno de trabajo del robot, así como del nuevo grado de libertad que será en forma de plataforma giratoria externa, para luego sincronizar ambos objetos, luego se pasa a ejecutar la aplicación de modelamiento de un sólido por computadora y se observará el nuevo alcance.

La simulación debe contar con las dimensiones reales del entorno donde el robot operará junto con la plataforma giratoria y así conocer los posibles puntos de colisión con el nuevo grado de libertad. Luego se pasa al diseño de la plataforma giratoria, mesa de soporte y herramienta de ejecución de la aplicación donde se usa un software de diseño de sólidos en tres dimensiones.

Luego de tener de manera física los elementos diseñados anteriores se procede a buscar un motor de pasos que soporte la carga máxima para la cual fue creado el robot, luego se procede a instalar dicho motor dentro de la plataforma giratoria y a realizar la comunicación entre el motor y el controlador del robot.

Por último, se crea un código para el robot en el lenguaje de programación de Python, que es un intérprete orientado a objeto, para ejecutar la aplicación de modelamiento por computadora.

1.1 Descripción del problema

El robot Kawasaki RS03N de gama media que se encuentra ubicado en el Laboratorio de Controles de Procesos Industriales, es usado para desarrollar prácticas de pregrado y posgrado; el espacio de trabajo del robot y su diseño permiten desarrollar un conjunto limitado de proyectos, que sirven para los estudiantes de pregrado de la carrera Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.

1.2 Justificación del problema

El añadir un séptimo grado de libertad en forma de plataforma giratoria externa al robot Kawasaki RS03N, aumentará el espacio de trabajo del robot sin afectar las funciones que realiza actualmente y se logrará desarrollar proyectos de mayor complejidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementación de un séptimo grado de libertad en el robot Kawasaki RS03N para lograr un mayor alcance en su espacio de trabajo, con propósito educativo para los estudiantes de pregrado y posgrado que realizan prácticas con el robot.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el entorno gráfico en RoboDK (software de simulación) del laboratorio de Control de Procesos Industriales, para permitir la simulación y visualización del robot con el séptimo eje (plataforma giratoria externa) para realizar pruebas del robot sincronizado con el nuevo eje externo.

- Definir las dimensiones del nuevo espacio de trabajo y la carga que soportará la nueva plataforma giratoria externa para que no existan colisiones al momento que el robot ejecute alguna acción.
- Dimensionar el motor y su controlador para el movimiento del séptimo eje, considerando sus características y la carga máxima que soportará para que no exista sobrecarga en la plataforma giratoria.
- Diseñar la comunicación y un código dentro de RoboDK, para que exista el correcto funcionamiento entre la plataforma giratoria y el robot.

1.4 Marco teórico

El brazo robótico Kawasaki RS03N está en el laboratorio de Control de Procesos Industriales desde el año 2015, llegó junto con la planta didáctica Lucas Nülle IPA 26, estos dos elementos forman en conjunto un sistema de envase y vaciado de pequeñas botellas las cuales son agrupadas en contenedores.

1.4.1 Espacio de trabajo

El significado de espacio de trabajo está dividido en dos clases que son:

- ¤ Espacio de trabajo útil
- ¤ Espacio de trabajo efectivo

El espacio de trabajo útil se lo define como “*el lugar geométrico definido por las posiciones que el robot es capaz de alcanzar con cualquier orientación en su extremo*”

El espacio de trabajo efectivo en cambio se lo define como: “*el lugar geométrico definido por las posiciones que el robot es capaz de alcanzar por lo menos con una orientación (también conocido como alcance)*”.

Por lo tanto, el espacio de trabajo es sinónimo de volumen de trabajo o envolvente de trabajo.

A continuación, en la Figura 1.1 mostramos el espacio de trabajo que tiene el robot Kawasaki RS03N, el cual hay que considerar para la simulación y para el diseño en físico.

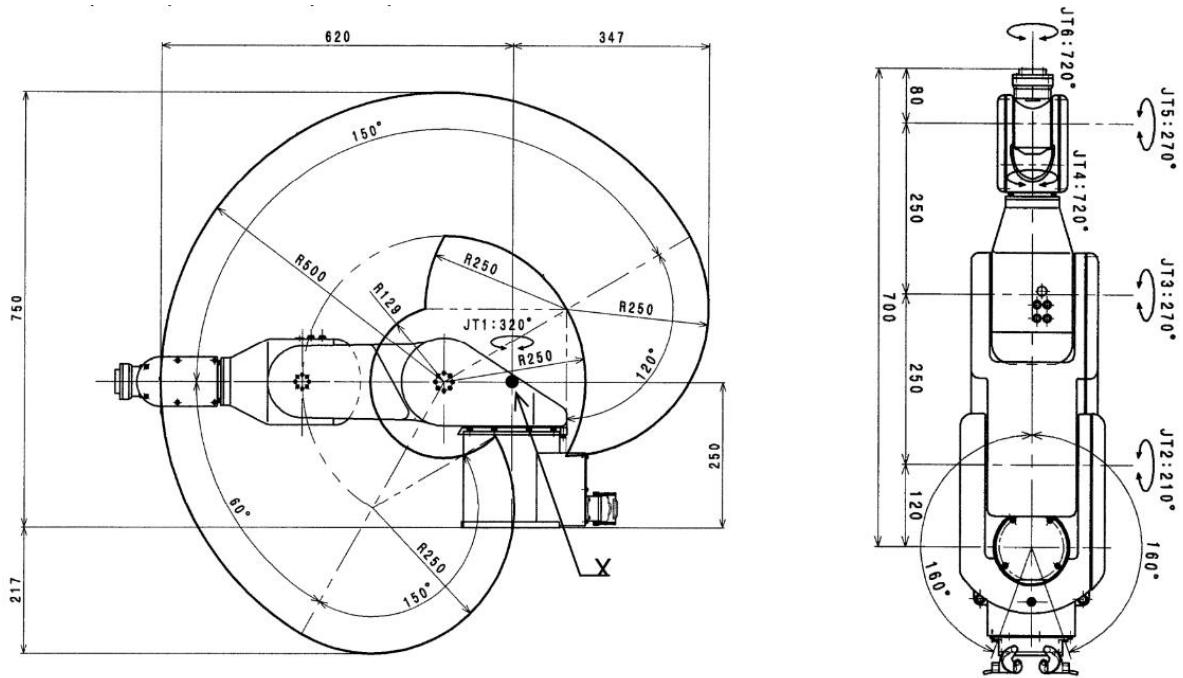


Figura 1.1 Espacio de trabajo del brazo robótico [1]

1.4.2 Grados de libertad

Los robots cuentan con una secuencia de elementos estructurales denominados eslabones, que están conectados entre sí mediante articulaciones, existen dos tipos de articulaciones: lineal y la rotacional.

Un robot se desplaza en un espacio tridimensional, sus articulaciones se mueven a través de tres ejes perpendiculares (guiño (yaw), cabeceo (pitch), rodar (roll)) (Figura 1.2) que combinados independientemente con la rotación de cada uno de sus ejes dan un total de seis posibles movimientos.

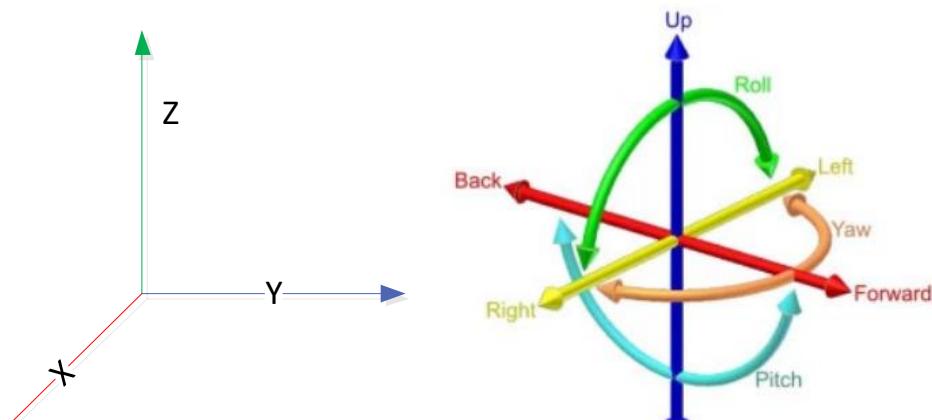


Figura 1.2 Ejes perpendiculares y seis grados de libertad: adelante/atrás (forward/back), arriba/abajo (up/down), izquierda/derecha (left/right), cabecear (pitch), guiñar (yaw), rodar (roll) [2]

Estos seis movimientos se los conoce como grados de libertad (G.L.D.), entonces se conoce como grado de libertad a cada coordenada independiente necesaria para describir el estado del sistema [5]. En la Figura 1.3 presentamos un brazo robótico con los seis grados de libertad.

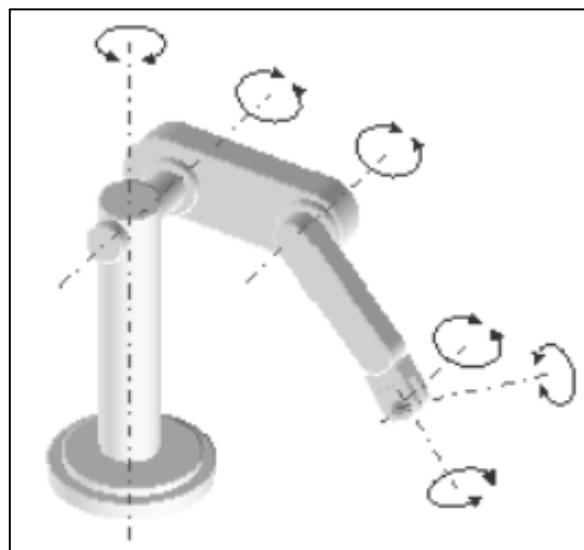


Figura 1.3 Brazo robótico con seis grados de libertad [2]

1.4.3 Software de simulación

El software RoboDK, permite simular distintos robots industriales y entornos de trabajo, realizar programación en fuera de línea (modo offline) para todo tipo de controladores industriales directamente desde su PC, a su vez se puede generar el código correspondiente para cada controlador. Los archivos se almacenan con extensión (.rdk), cuando se crea un nuevo proyecto y este se guarda como una estación RoboDK, esta contiene: herramientas, sistemas de referencia, objetos y demás parámetros. Existen diversas marcas de robots que podemos encontrar en el software, aquí presentamos algunas:

- ✓ ABB RAPID
- ✓ FANUC
- ✓ KUKA / IIWA
- ✓ KAWASAKI

- ✓ MITSUBISHI
- ✓ PUMA

A continuación, se va a describir el controlador, datos técnicos y las aplicaciones que vienen con el diseño original del robot. Luego se va a presentar el diagrama de comunicación del sistema a implementar.

1.4.4 Controlador

Este contiene un interruptor de alimentación, panel de operaciones, panel de accesorios, panel de control. En la Figura 1.4 se presenta una vista frontal externa del controlador del robot.

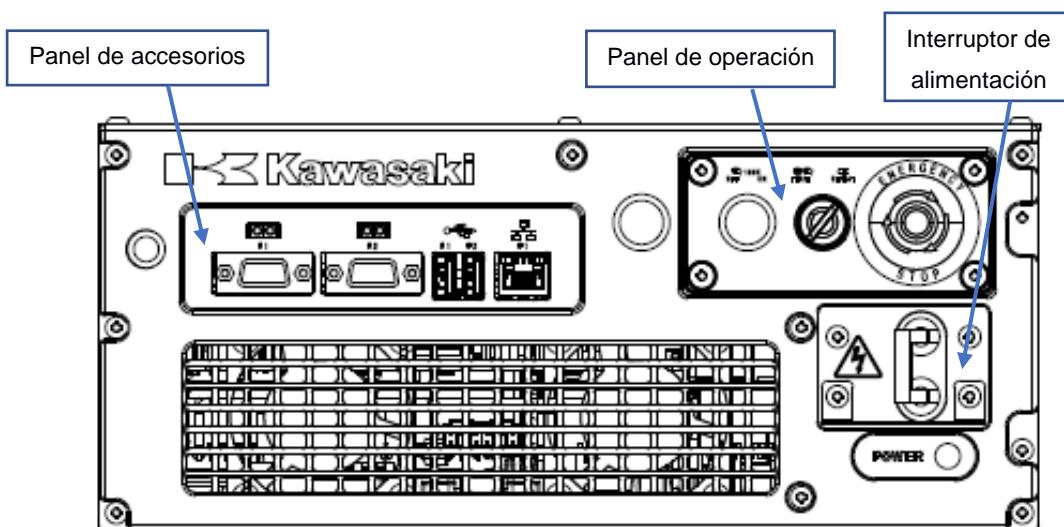


Figura 1.4 Controlador del Robot Kawasaki RS03N [3]

En la Tabla 1.1 se presenta el detalle de las funciones que realiza cada componente del controlador.

Tabla 1.1 Componentes del controlador

Componente	Descripción
Interruptor de alimentación	Interruptor de ON/OFF para el controlador
Panel de accesorios	Puerto USB para dispositivos de almacenamiento externo y puerto RS-232C para conexión con PC

Panel de operaciones	Provee varios tipos de interruptores necesarios para la operación del robot
----------------------	---

1.4.5 Especificaciones del panel de operaciones

En la Tabla 1.2 se pasa a especificar la interfaz del panel de operaciones.

Tabla 1.2 Panel de operaciones [4]

No.	Interruptores	Funciones
1	ENSEÑAR/REPETIR (teach/repeat)	Interruptor para modo “ENSEÑAR” o “REPETIR”.
	100%/ENSEÑAR/REPETIR (100%/teach/repeat)	Interruptor de rápido chequeo, “ENSEÑAR” o “REPETIR”.
2	CONTROL DE ENERGÍA (Control power)	La luz me indica cuando el controlador de energía está encendido (ON).
3	PARO DE EMERGENCIA (Emergency stop button)	Intercepta la potencia del motor y detiene el robot cuando se presiona este botón en una emergencia. Al mismo tiempo, la luz “Motor” y la luz “Ciclo” en TP (Teach Pedant) están apagadas. Sin embargo, la alimentación del controlador no se ha cortado.

En la Figura 1.5 se muestra la interfaz del panel de operaciones del robot Kawasaki serie RS.

Europe spec. (Standard)

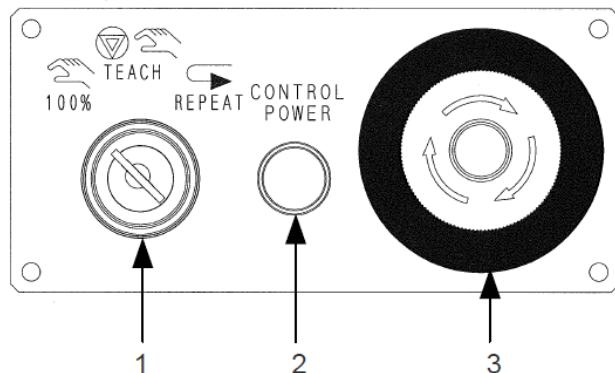


Figura 1.5 Interfaz del panel de operaciones [4]

1.4.6 Especificaciones del robot

En la Tabla 1.3 se pasa especifican los componentes del robot.

Tabla 1.3 Componentes del robot [4]

Brazo del Robot			
1. Modelo	RS003N-A		
2. Tipo	Robot articulado		
3. Grado de libertad	6 ejes		
4. Especificación de los ejes	Eje de operación	Rango máximo de operación	Velocidad máxima
	Rotación de brazo (JT1)	+160 ° ~ – 160 °	360 ° / s
	Brazo salida-entrada (JT2)	+150 ° ~ – 60 °	250 ° / s
	Brazo arriba-abajo (JT3)	+120 ° ~ – 150 °	225 ° / s
	Muñeca giratoria (JT4)	+360 ° ~ – 360 °	540 ° / s
	Muñeca giratoria (JT5)	+135 ° ~ – 135 °	225 ° / s
	Muñeca giratoria (JT6)	+360 ° ~ – 360 °	540 ° / s
5. Repetibilidad (Repeatability)	±0.02 mm (en la superficie de montaje de la herramienta)		
6. Carga útil máxima	3 Kg		
7. Velocidad máxima	6000 mm/s (en el centro de la superficie de montaje de la herramienta)		
8. Capacidad de carga de la muñeca		Torque máximo	Momento de inercia*
	JT4	5.8 N.m	0.12 Kg. m ²
	JT5	5.8 N.m	0.12 Kg. m ²
	JT6	2.9 N.m	0.03 Kg. m ²
	Nota * Cada valor de esta tabla muestra la inercia permitida de JT4/JT6 cuando máx. El par permitido se aplica a cada eje.		
9. Drivers del motor	Servomotor AC Sin Escobillas (Brushless AC Servomotor)		
10. Rango de trabajo	Ver en la Figura 1.6 [3]		
11. Masa	20 Kg (sin opciones)		

12. Color	Munsell 10GY9/1 equivalente
13. Instalación	Montaje en suelo o techo
14. Medio ambiente cond.	(Temperatura) 0 ~ 45 °C , (Humedad) 35 ~ 55 %, nor frost allowed
15. Grado de protección	IP54
16. Utilidades incorporadas	Tuberías neumáticas (Ø 4 x 2 lines)
17. Opciones	Sensores harners (4 circuitos), cableado dentro del brazo robótico Válvula solenoide doble (1 circuito) Válvula solenoide doble (2 circuitos) Válvula solenoide única (1 circuito) Válvula solenoide única (2 circuitos) Tapón mecánico ajustable JT1 Color (Munsell)

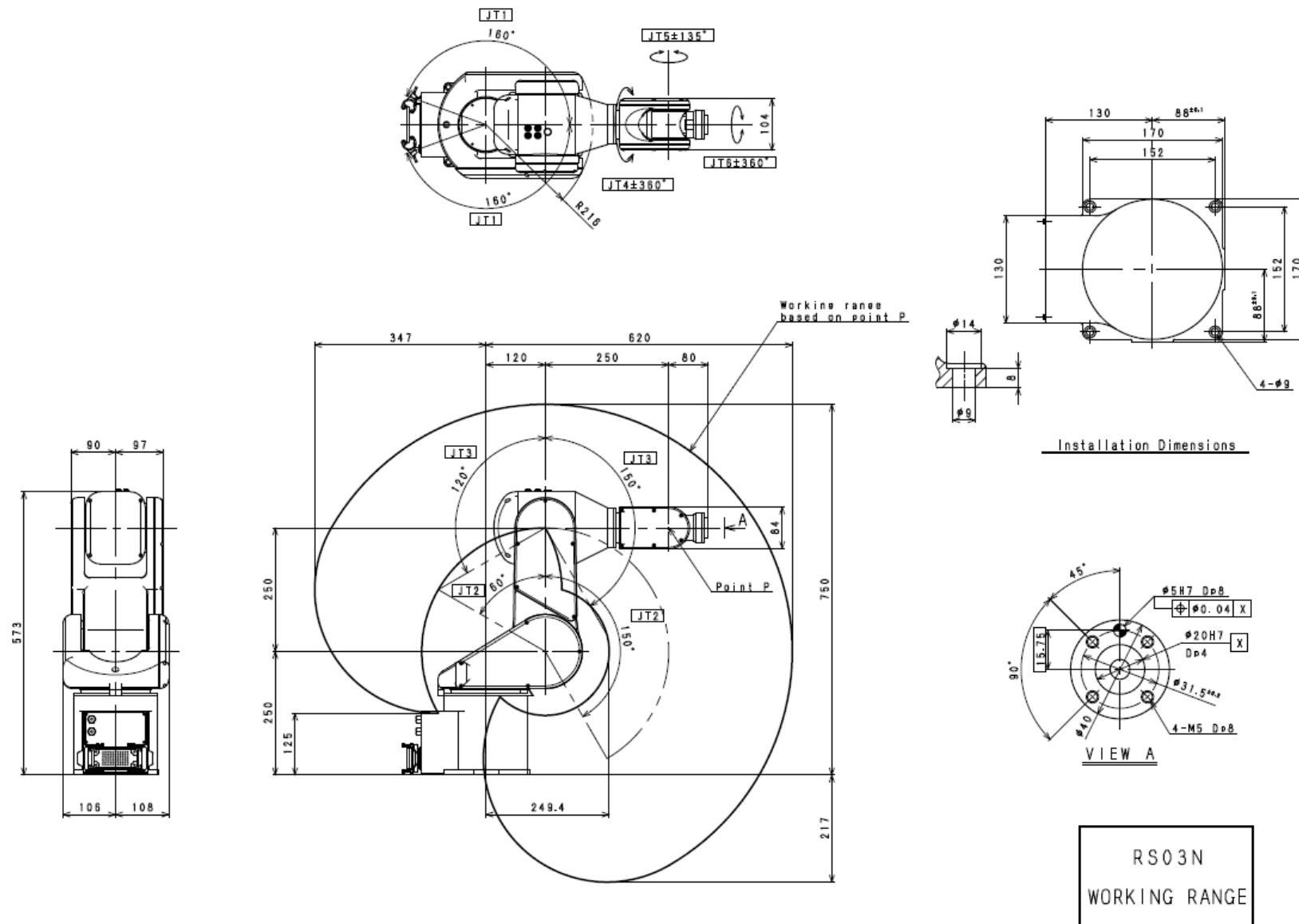


Figura 1.6 Rango de trabajo del Robot Kawasaki RS03N [3]

1.4.7 Aplicaciones

El robot Kawasaki RS03N permite diversas configuraciones las cuales se adaptan a las tareas tan diversas como:

- Ensamblar
- Dispensar
- Paletizar
- Soldar

1.4.8 Diagrama de comunicación

El diseño de la comunicación está dado en su manual de AS_Language_Manualseries [5] y muestra la comunicación del robot, Teach Pendant, computadora personal y el eje externo. En la Figura 1.7, se presenta lo antes mencionado.

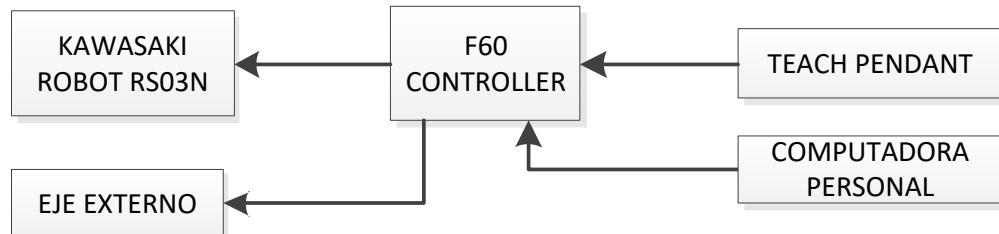


Figura 1.7 Diagrama de comunicación del sistema

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se va a explicar el proceso a realizar para la correcta implementación de la plataforma giratoria externa como séptimo grado de libertad del robot Kawasaki.

2.1 Diagrama de bloques

En la Figura 2.1 se observa un diagrama de bloques del sistema como los pasos a seguir de manera general para llegar al objetivo.

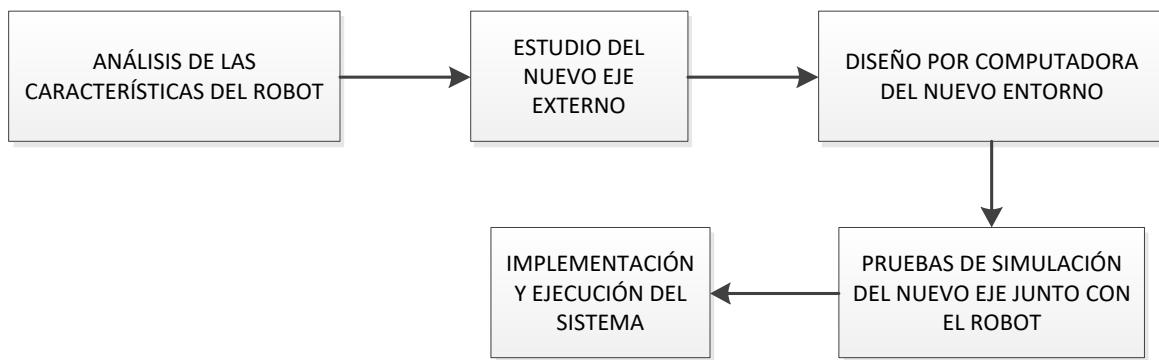


Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema

Las características del robot son todas las que se mencionan en el manual de operaciones las cuales se presentan en las Tablas 1.1 y 1.2 del marco teórico.

En el estudio del eje externo consideramos tres opciones para la creación de la plataforma:

- Plataforma lineal externa.
- Robot sobre una plataforma lineal.
- Plataforma giratoria externa.

2.1.1 Plataforma lineal externa

La plataforma externa es muy usada en líneas de producción con procesos repetitivos, su alcance lineal aumentaría considerablemente, sin embargo, no se podrían realizar trabajos complejos de modelizado con el robot. Por otro lado, el costo de implementación es muy elevado por la complejidad que tiene el diseño y la implementación mecánica, por dichas razones esta opción no es escogida.

2.1.2 Robot sobre una plataforma lineal

El robot sobre la plataforma lineal trae ventajas al aumentar el área del trabajo, sin embargo, los costos son más elevados que trabajar sobre una plataforma lineal externa. Por otra parte, sería muy costoso realizar el diseño e implementación de una plataforma que soporte el robot, además se comprometen todas las funciones que realiza en la actualidad el robot. Por eso esta opción no es viable.

2.1.3 Plataforma giratoria externa

La plataforma giratoria externa aumenta de manera considerable el espacio de trabajo del robot, no compromete la estructura ni las funciones que actualmente tiene el brazo articulado, sus costos no son tan elevados. Lo más complejo es la sincronización entre el robot y la plataforma, pero esto se resuelve con ayuda del software (RoboDK).

2.2 Metodología del trabajo

2.2.1 Construcción del entorno y plataforma giratoria

Lo primero que se realiza es el entorno del laboratorio de control de procesos industriales para luego realizar las pruebas en el robot ya

sincronizado con el nuevo eje externo implementado. En la Figura 2.2 se presenta lo antes mencionado.

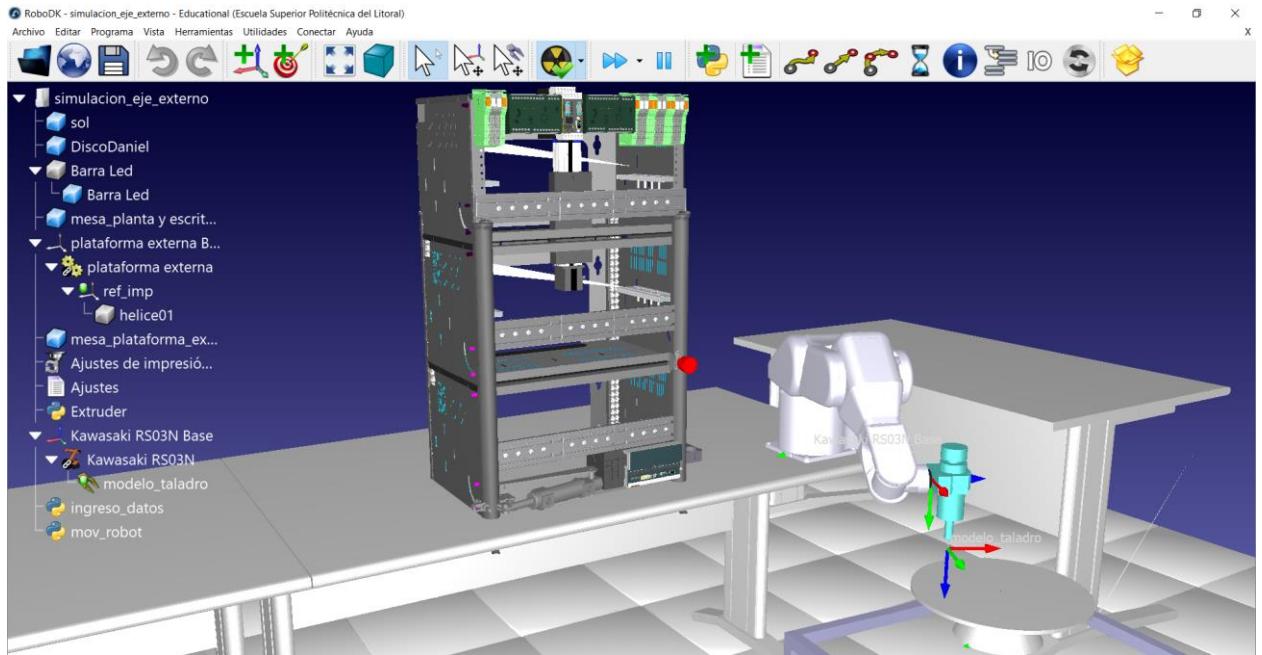


Figura 2.2 Entorno del laboratorio de control de procesos industriales

Luego se diseña la mesa con altura ajustable que soportará el eje externo en el programa FreeCAD. El diseño es en tres dimensiones, por lo tanto, hay que dimensionar el espacio de trabajo que tiene actualmente el robot. En la Figura 2.3 se presenta una ilustración de la mesa que soportará el eje externo.

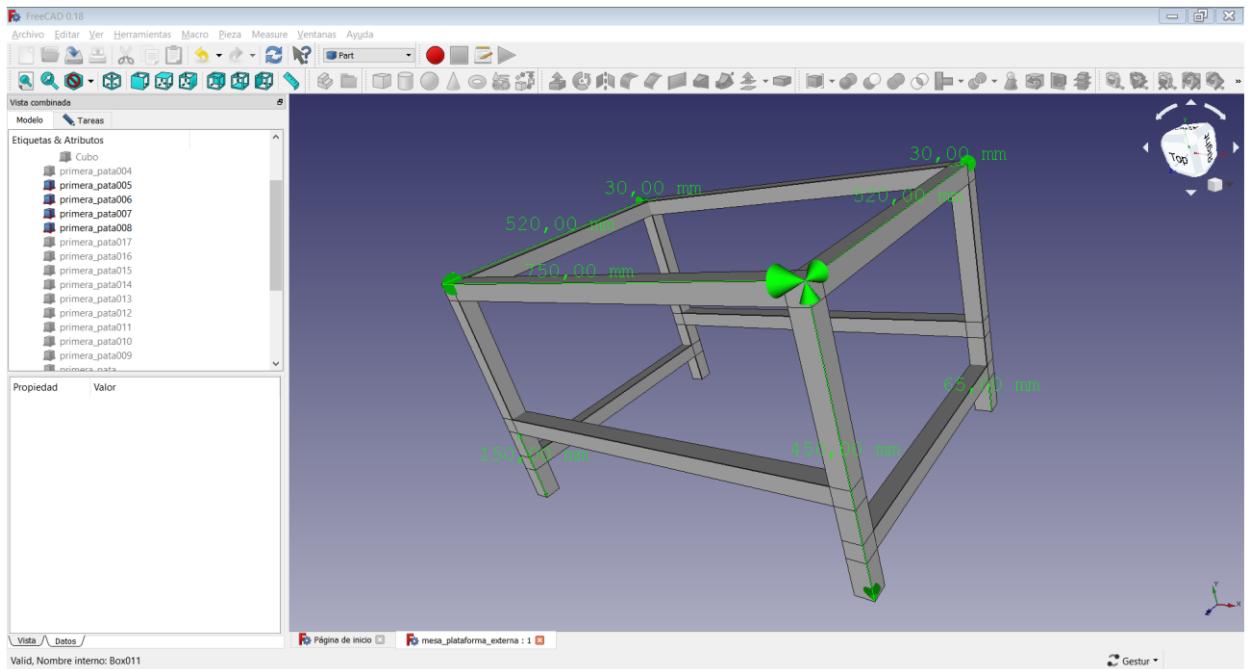


Figura 2.3 Diseño en tres dimensiones de la mesa de soporte

Ahora pasamos a diseñar la plataforma giratoria con el uso del software FreedCAD, considerando un dimensionamiento de 20 cm de radio que no afecte al momento de ejecutar alguna acción robot. Dicha plataforma contará con ranuras para poder sujetar el elemento que se vaya a colocar encima. En la Figura 2.4 y 2.5 se muestra el diseño de la plataforma.

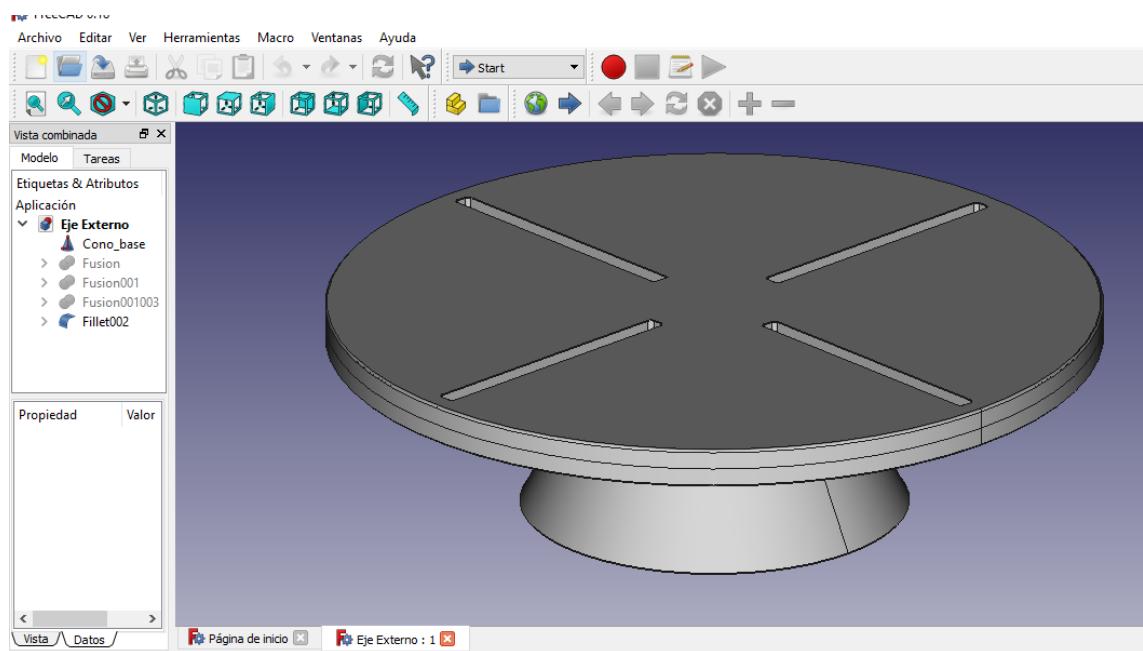


Figura 2.4 Diseño del eje externo o plataforma giratoria en FreeCAD.

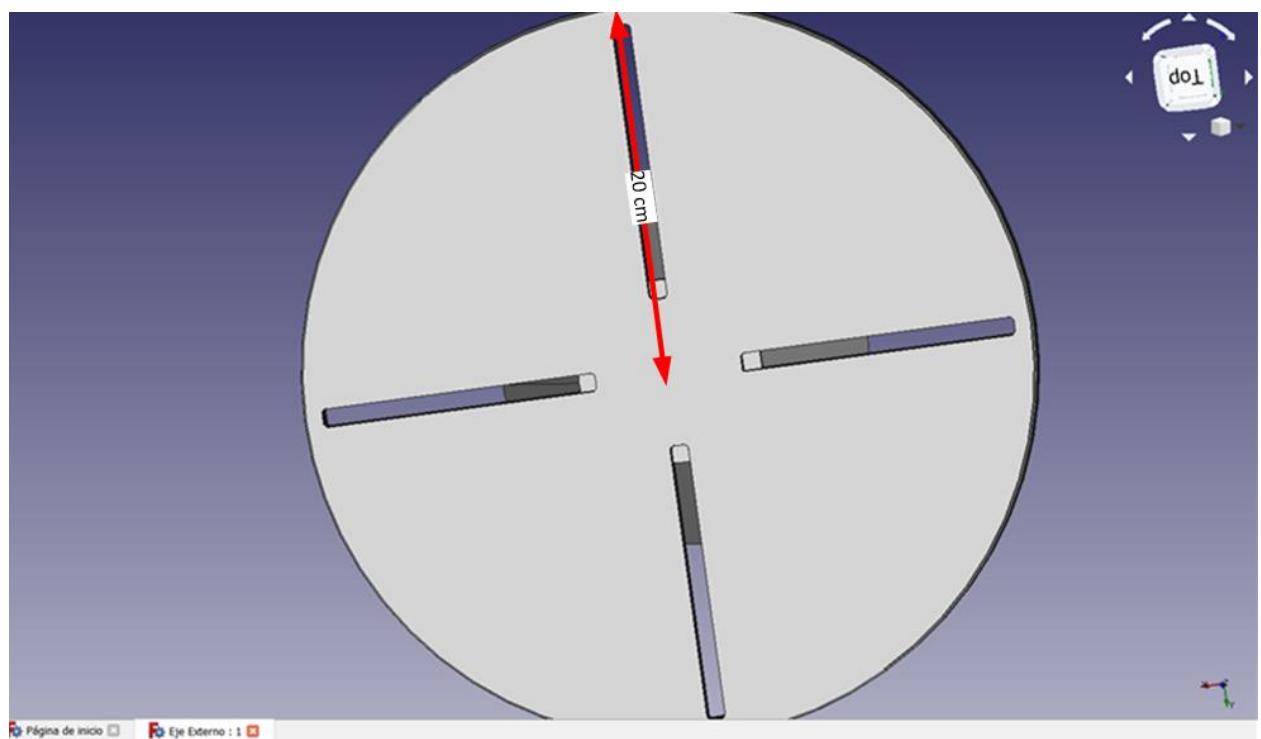


Figura 2.5 Vista superior del eje externo o plataforma giratoria en FreeCAD.

Para terminar, se diseña la herramienta que usaremos para demostración de una aplicación con el eje externo implementado. En la Figura 2.5 se muestra el diseño final de la herramienta.

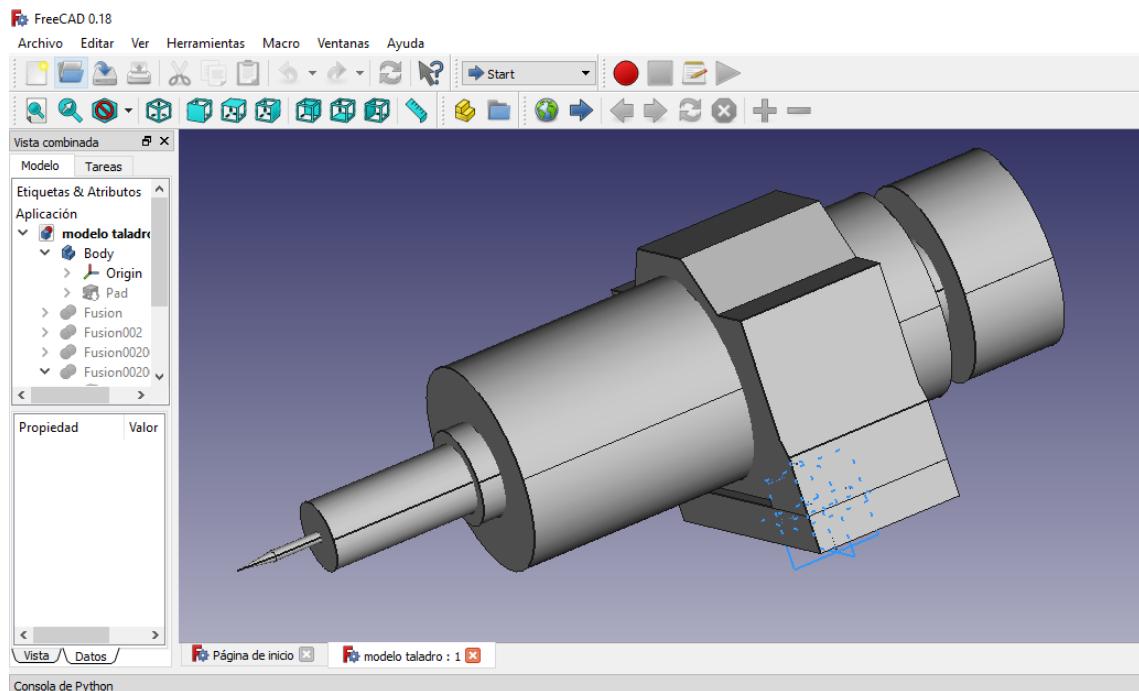


Figura 2.6 Diseño de la herramienta de trabajo

2.2.2 Simulación de la sincronización del robot con el eje externo

En los siguientes pasos se presenta la configuración que se realiza en RoboDK para sincronizar el eje externo con el robot Kawasaki RS03N.

Paso 1. Se coloca un sistema de referencia en el lugar donde se encuentra la plataforma, como se muestra en la Figura 2.7.

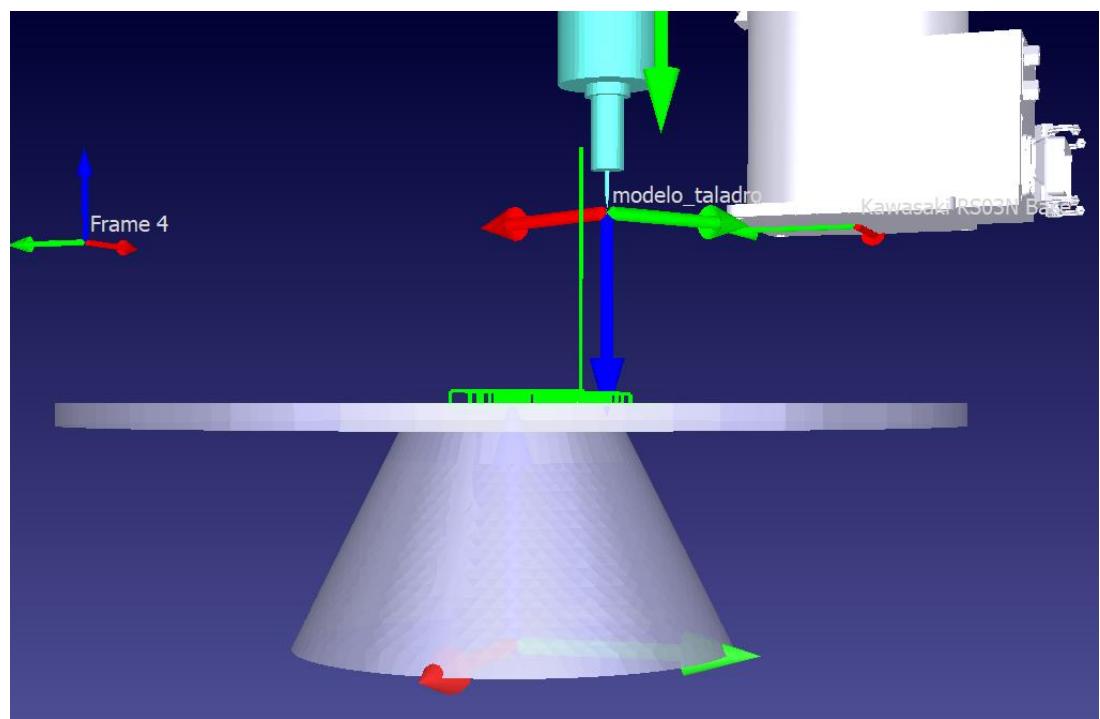


Figura 2.7 Colocación del sistema de referencia en la plataforma giratoria

Paso 2. Se realiza modelizado robótico de la plataforma, con todas las configuraciones necesarias para pasar de un objeto CAD a un robot con un grado de libertad. Modelizado robótico significa otorgarle todas las características necesarias a un objeto para que interactúe con el software. En la Figura 2.8 y Figura 2.9 se ilustran los pasos antes mencionados.

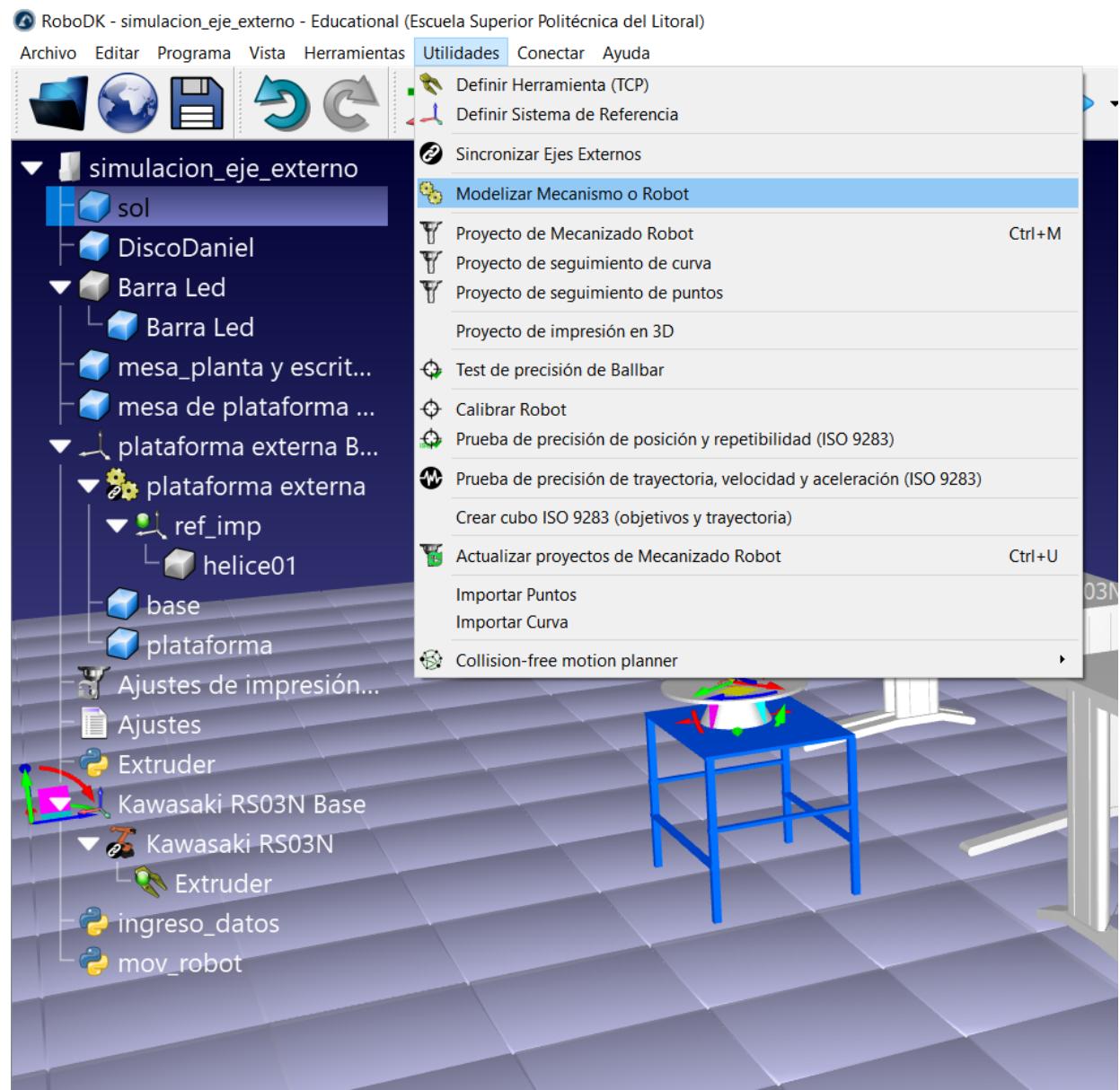


Figura 2.8 Selección de la opción "Modelizar Mecanismo o Robot"

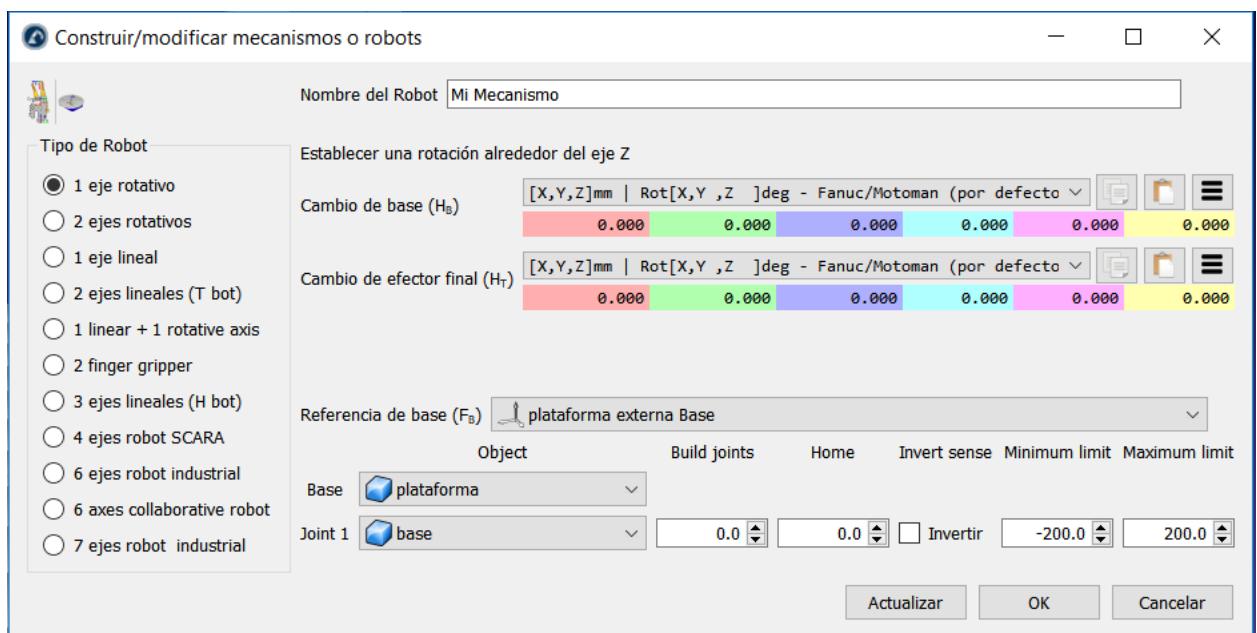


Figura 2.9 Construcción/-modificación del mecanismos o robots

Paso 3. Se realiza la sincronización de la plataforma con el robot como se muestra en la Figura 2.8

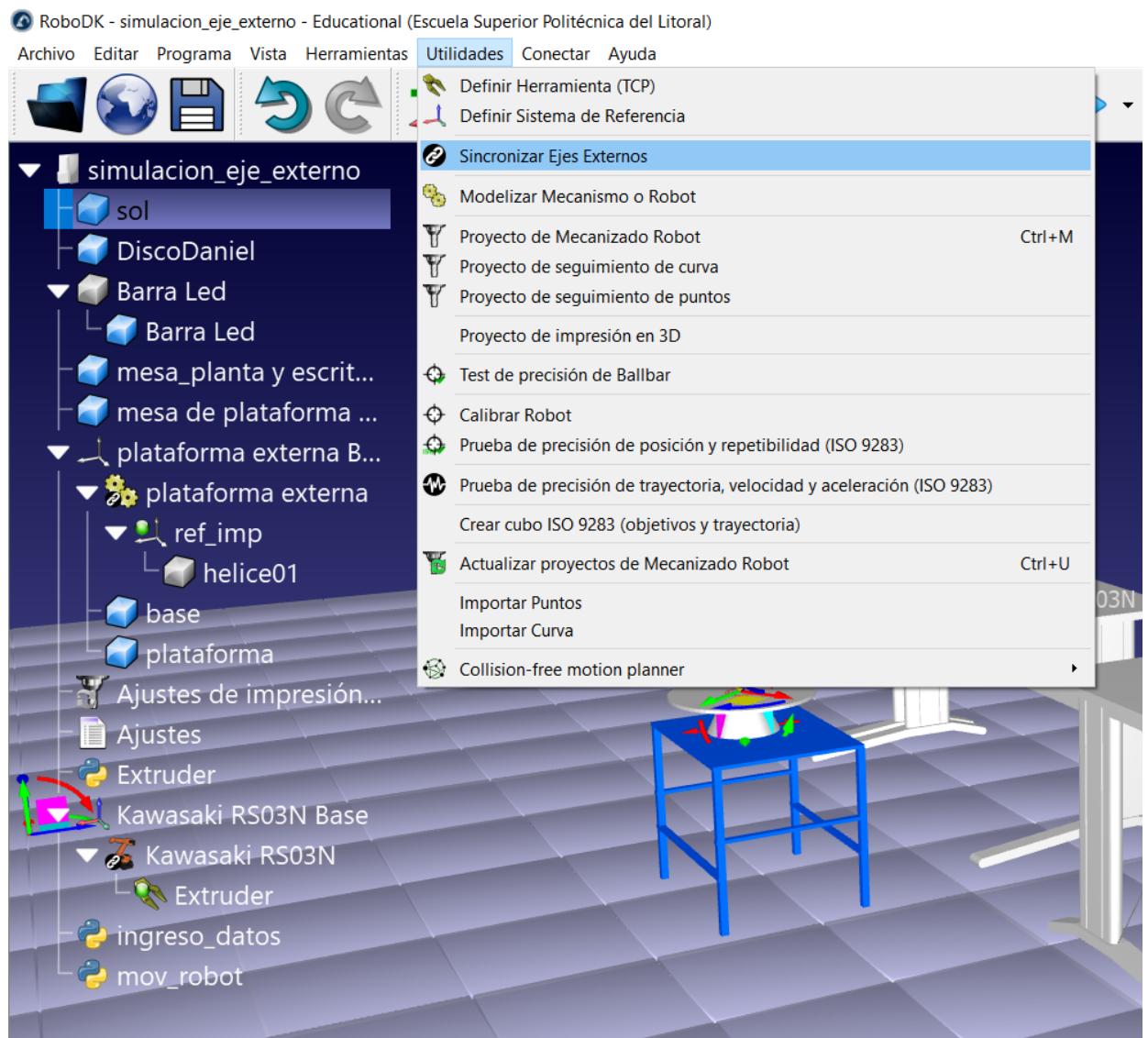


Figura 2.10 Sincronización de ejes externos

Luego de seleccionar la sincronización se visualiza una ventana, como en la Figura 2.9, en la cual en la opción “Mesa giratoria o carril lineal” debe tener seleccionada la opción: plataforma externa; y en la opción “Robot” se debe seleccionar: Kawasaki RS03N.

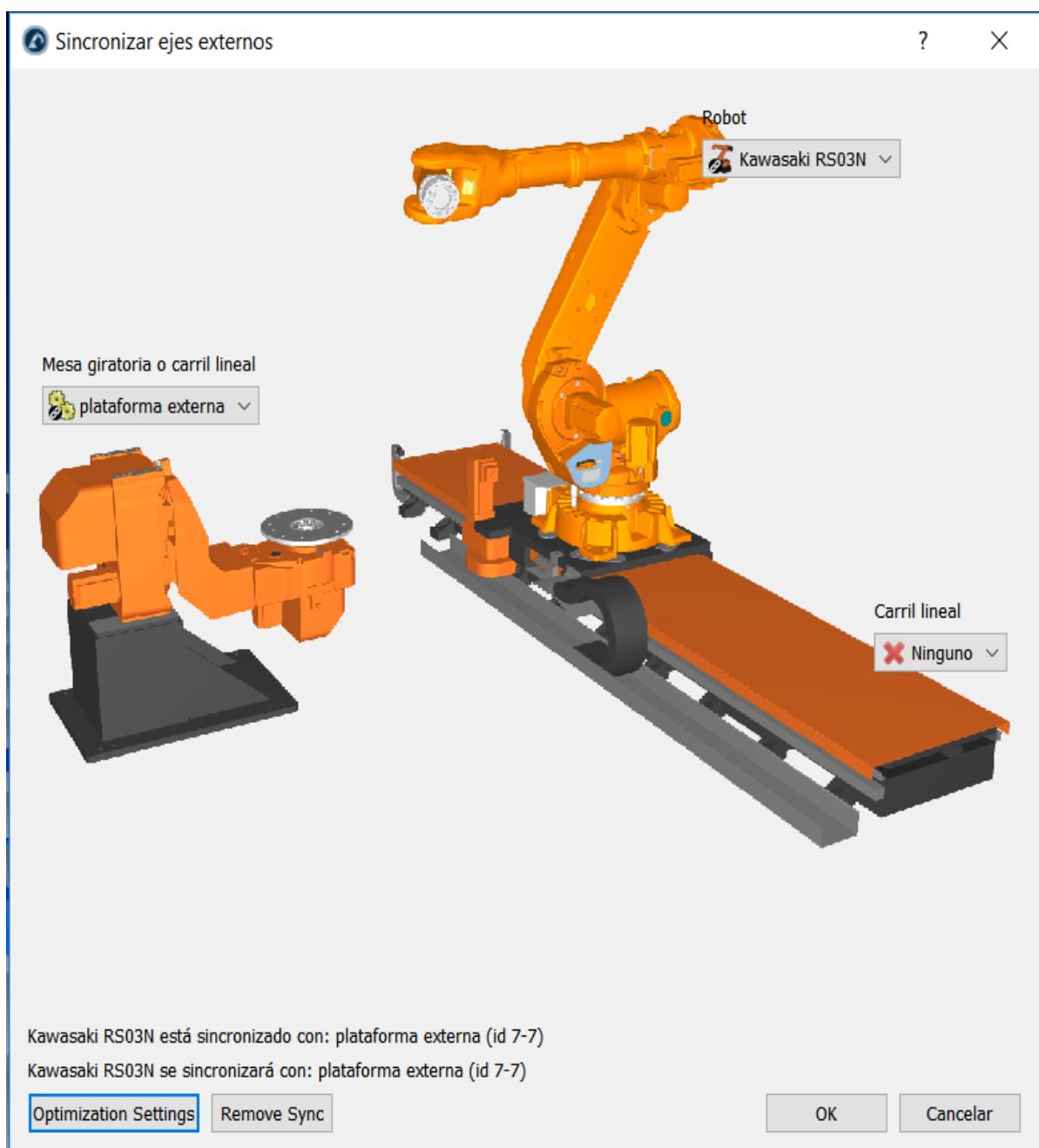


Figura 2.11 Ventana de sincronización ejes externos

2.2.3 Implementación de la Comunicación y sincronización

Controlador F60 Controller

El controlador F60 Controller se encuentra diseñado para que funcione con la planta Lucas Nülle, el querer comunicar el séptimo grado de libertad al controlador conllevaría a cambiar la configuración que tiene actualmente, para evitar esto se prefiere usar las entradas y salidas digitales disponibles para proceder a realizar la comunicación y sincronización de la plataforma externa con el robot. En la Figura 2.11 se muestra al controlador



Figura 2.12 Controlador del robot F60 Controller vista frontal

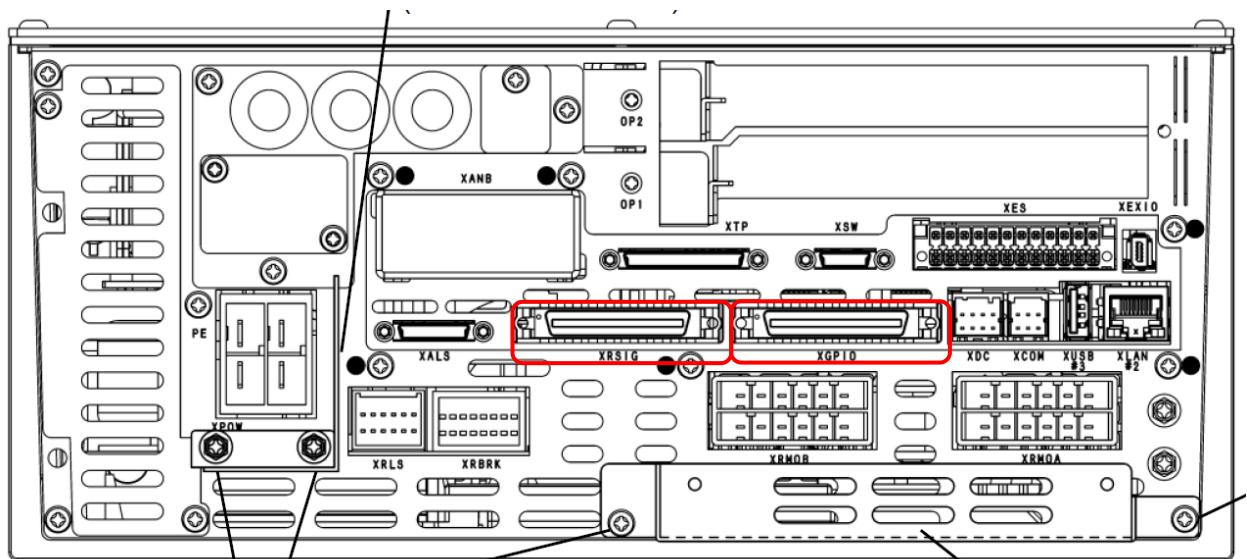


Figura 2.13 Vista posterior del controlador F60 del robot RS03N, están encerrados en color rojo los terminales XRSIG y XGPIO [6]

Comunicación Multipunto y Planta IMS11

Para comunicación entre las diversas plantas que componen a la de Lucas Nüelle y al robot Kawasaki, se utilizó la interfaz MPI (Multi Point Interface) que vino por defecto de fábrica.

MPI es un sistema de bus propietario de Siemens usado en la interfaz de programación para los Simatic S7, especialmente en la comunicación de interfaz hombre máquina (HMI) y resulta económica ya que se utiliza el mismo cableado y conectores sin requerir de tarjeta adicional.

Ahora para poder manipular estos terminales, se pasa a trabajar con la planta IMS11 que es la que conecta el robot con la planta de embotellamiento y almacenamiento de Lucas Nüelle. En esta planta se encontró unas borneras con la identificación -X1 -X2 y -X3. En la -X3 se encuentran representadas las entradas y salidas lógicas para comunicar el controlador del robot con la planta. En la Figura 2.15 se muestra lo antes mencionado.

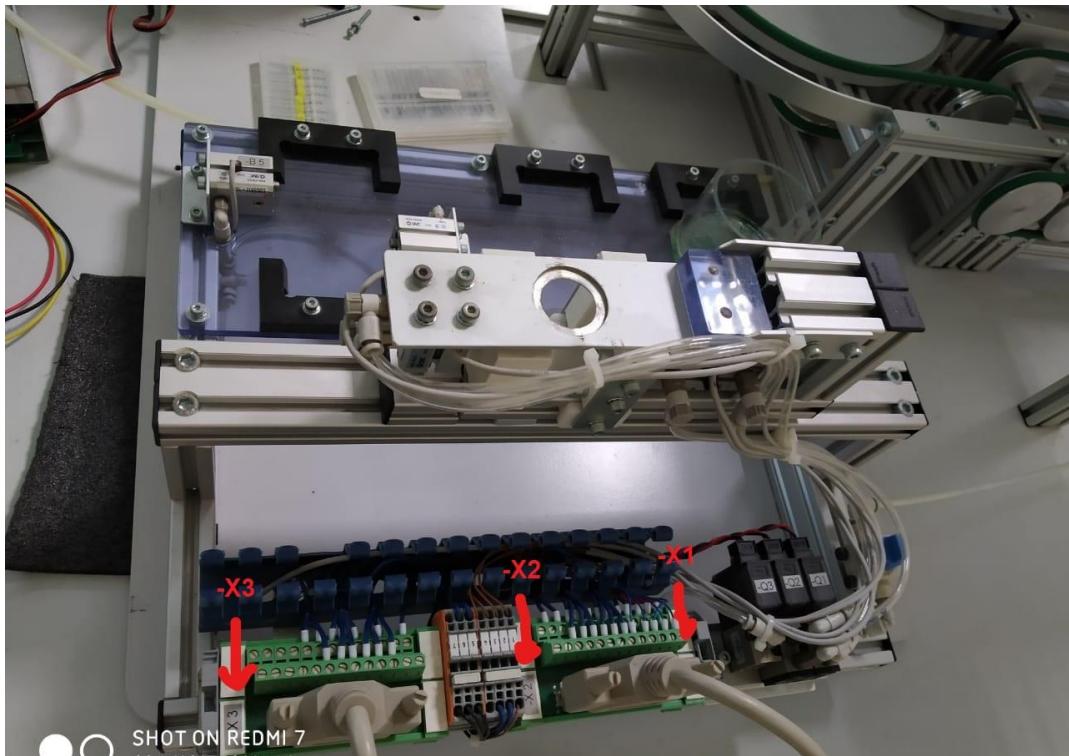


Figura 2.14 Planta IMS11 que comunica al controlador del robot con la planta Lucas Nüelle, de derecha a izquierda las flechas señalan las borneras identificadas como -X1 -X2 y -X3

Puerto paralelo db25

El bus de datos db25 se lo usa para conectar en serie los puertos de entrada y salida de la planta IMS11. Los pines que se utilizaron para la transmisión de datos están detallados en la Figura 2.15.

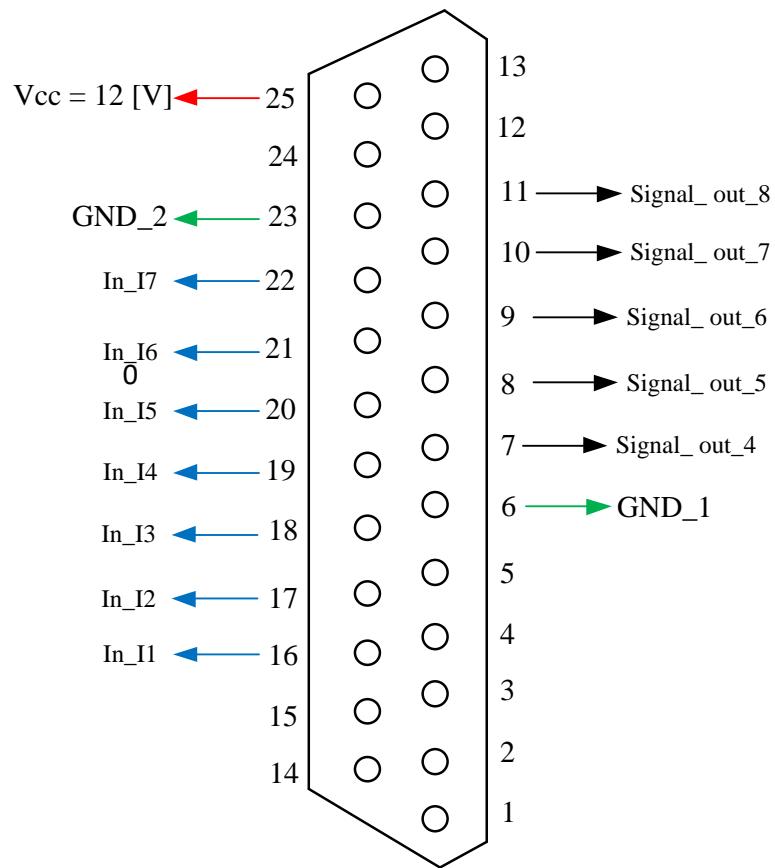


Figura 2.15 Bus de Datos de 25 pines de la bornera -X3, se especifica los pines a utilizar

Código para la consola Arduino

Debido a que se compró el driver HY-DIV268N-5A para el motor de pasos Nema 23 se procedió a buscar un código para que controlar el motor de paso a paso con el driver, una vez encontrado se lo pasó a modificar según nuestros requerimientos para el entorno de trabajo. En la Figura 2.16 se procede a enseñar el código basado en el que se referencia en la cita [7].

codigoMPP §

```
const int dirPin = 2; //4
const int stepPin = 3; //5
int ENpin =4; //6
int out_robot_4=11; //17
int out_robot_5=12; //18
int in_robot_4=5; //11
int in_robot_5=6; //12
int stepDelay;
void setup() {
    // Declarar los pines como salida
    pinMode(dirPin, OUTPUT);
    pinMode(stepPin, OUTPUT);
    pinMode(ENpin, OUTPUT);
    pinMode(out_robot_4, INPUT); // salida del robot entrada para arduino
    pinMode(out_robot_5, INPUT); // salida del robot entrada para arduino
    pinMode(in_robot_4, OUTPUT); // entrada del robot entrada para arduino
    pinMode(in_robot_5, OUTPUT); // entrada del robot entrada para arduino
}
void loop() {
    digitalWrite(ENpin, HIGH);
    while(digitalRead(out_robot_4)){
        //Activar una dirección y fijar la velocidad con stepDelay
        digitalWrite(ENpin, LOW);
        digitalWrite(dirPin, HIGH);
        stepDelay = 2; // Giramos 200 pulsos para hacer una vuelta completa
        digitalWrite(in_robot_4, HIGH);
        for (int x = 0; x < 1250; x++) {
            digitalWrite(stepPin, HIGH);
            delay(stepDelay);
            digitalWrite(stepPin, LOW);
            delay(stepDelay);
        }

        delay(1000);
        digitalWrite(in_robot_4, LOW);
    }
}
```

Figura 2.16 Código de prueba en Arduino

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de la simulación

Los resultados que se observaron actualmente gracias a la simulación son satisfactorios y confirman el diseño realizado por lo que se puede pasar a la construcción en físico de la plataforma giratoria, mesa de soporte y herramienta para modelado. En la Figura 3.1 visualizamos lo antes expresado.

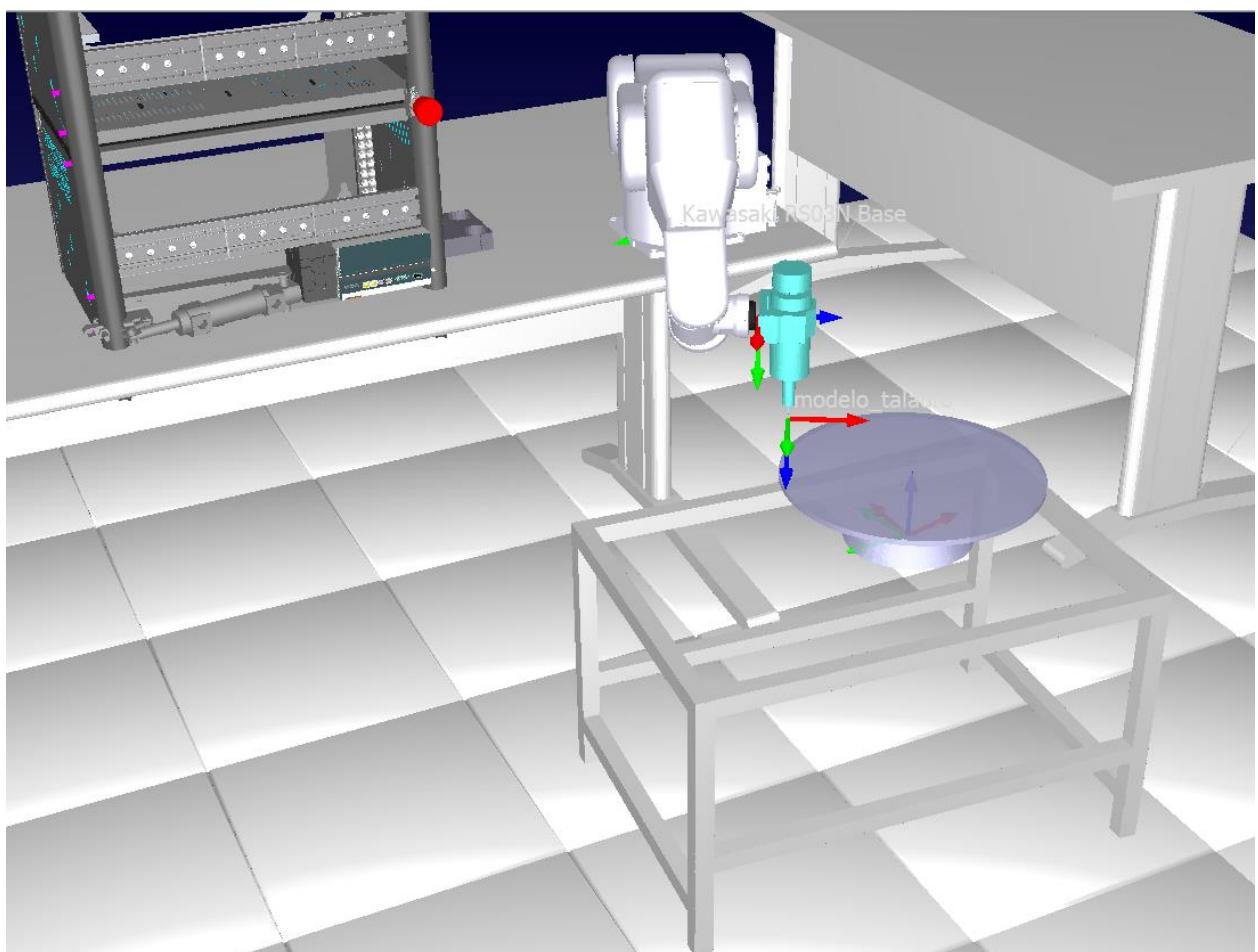


Figura 3.1 Presentación del nuevo grado de libertad externo en forma de plataforma giratoria con el entorno de trabajo.

Por medio del software Inkscape se puede vectorizar dibujos, fotos y hasta letras para luego se pasarlo a lenguaje g (gcode), que es el lenguaje de programación en control numérico. Posteriormente se lo carga en el software roboDK para realizar la simulación correspondiente. En la Figura 3.2 se visualiza el archivo vectorizado del engranaje.

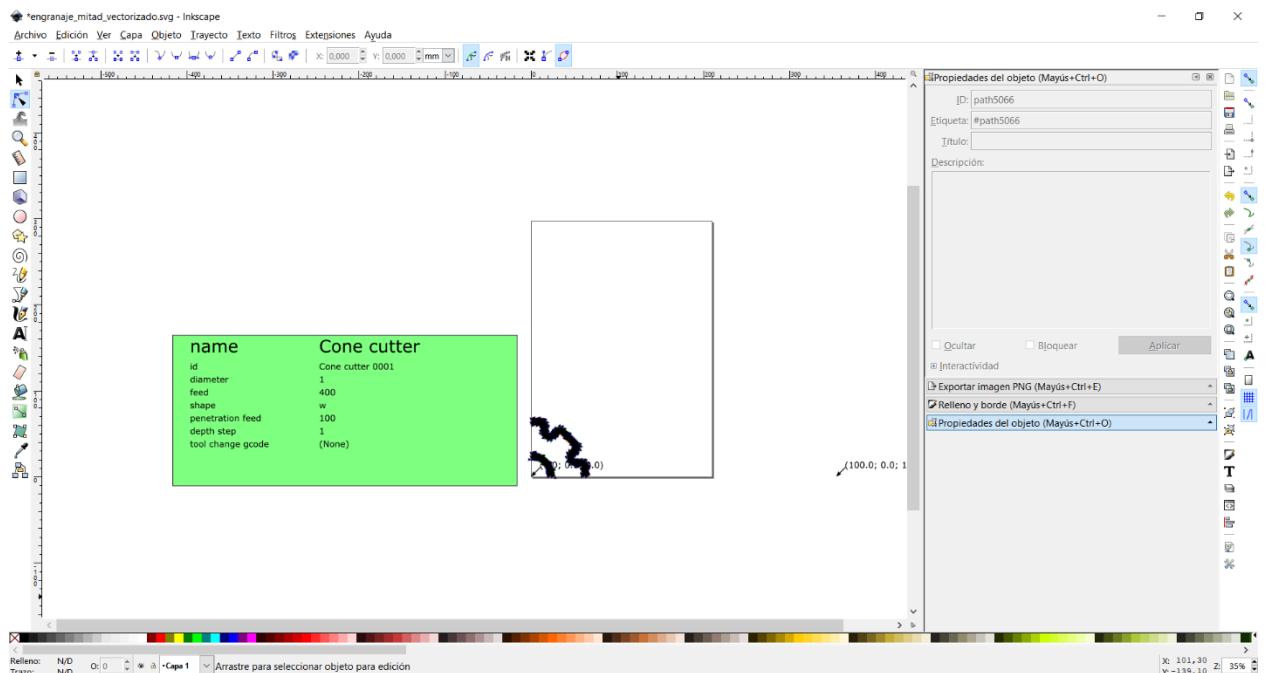


Figura 3.2 Dibujo vectorizado de la cuarta parte de un engranaje

En la Figura 3.3 se observa un modelamiento por computadora, aquí ya se estableció la comunicación entre el nuevo eje externo y el controlador, con esto la plataforma giratoria se moverá según el controlador crea la mejor posición y este a su vez ejecutará la acción que esté codificada en el archivo seleccionado “Ajustes”.

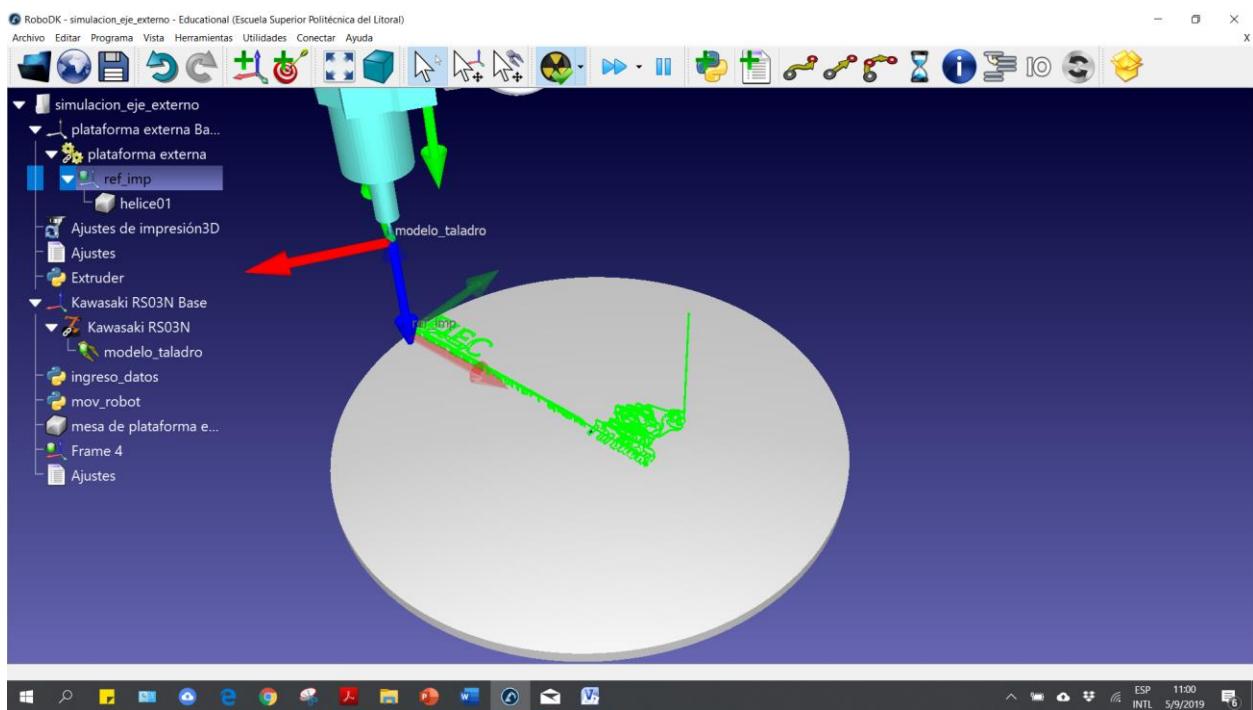


Figura 3.3 Dibujo con la herramienta de taladro con la plataforma giratoria

En la Figura 3.4 se pasó a cargar en “Ajustes de mecanizado” el archivo codificado en lenguaje g de la mitad de un engranaje, el cuál será también ejecutado para demostración del nuevo eje externo.

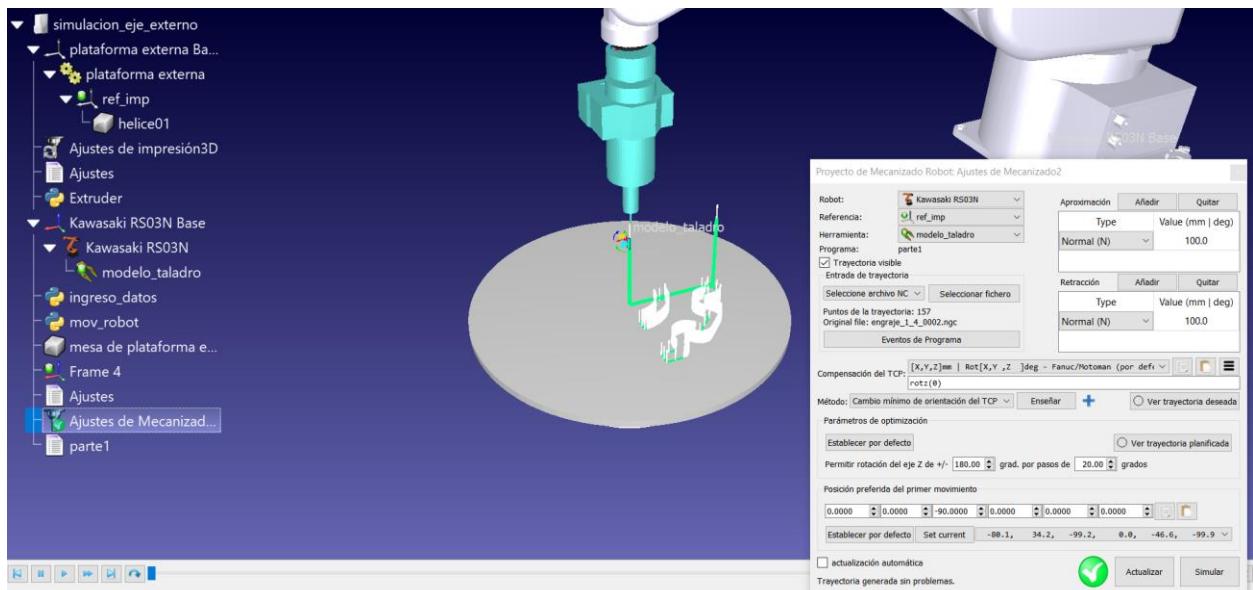


Figura 3.4 Dibujo con la herramienta de taladro con la plataforma giratoria

3.2 Resultados de la implementación

3.2.1 Comunicación y sincronización

Se encontraron los pines que permite la comunicación entre el controlador del robot y la planta Lucas Nuelle, al conocer cómo se transmiten los datos, que es de forma paralela con un db25, se logró comunicarlo con ayuda de un microcontrolador para que con el código cargado dentro del mismo se pueda realizar la conexión del controlador del robot con el motor de pasos y así este de movimiento al eje externo. En la Figura 3.7 se observa el diseño de comunicación entre el microcontrolador y el driver del motor.

Trabajando con el archivo del engranaje cargado en el software roboDK, se pasa a obtener de aquí el código en lenguaje AS que es el lenguaje que necesita el robot Kawasaki para realizar modelado de alguna pieza en este caso del engranaje. Para editar el programa se usa un editor de código lenguaje g (gcode) y lo guarde con extensión pg. En la Figura 3.5 y Figura 3.6 se observan los resultados de lo descrito.



Figura 3.5 Resultado parcial del modelizado del engranaje

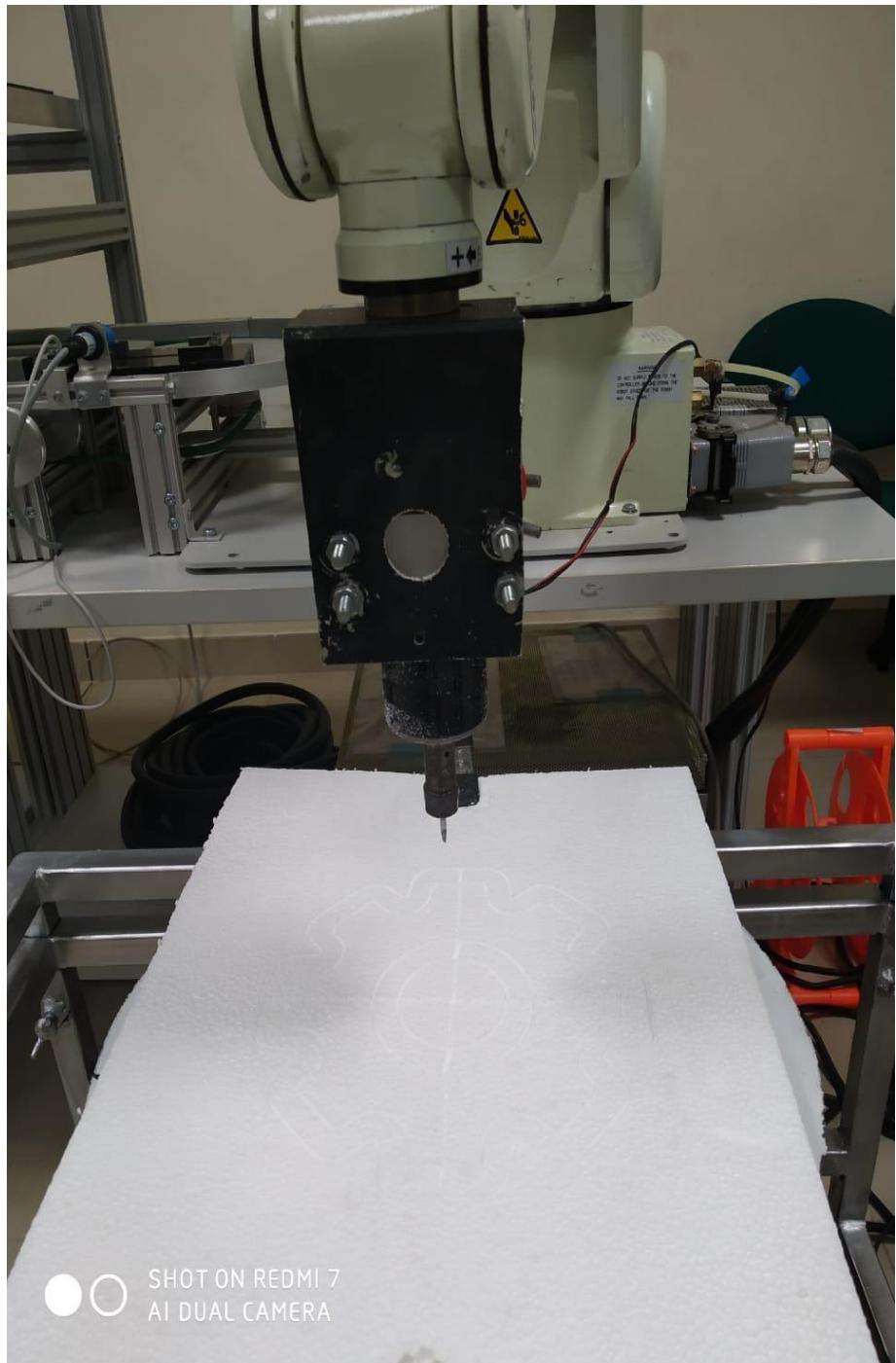


Figura 3.6 Resultado final del modelizado del engranaje

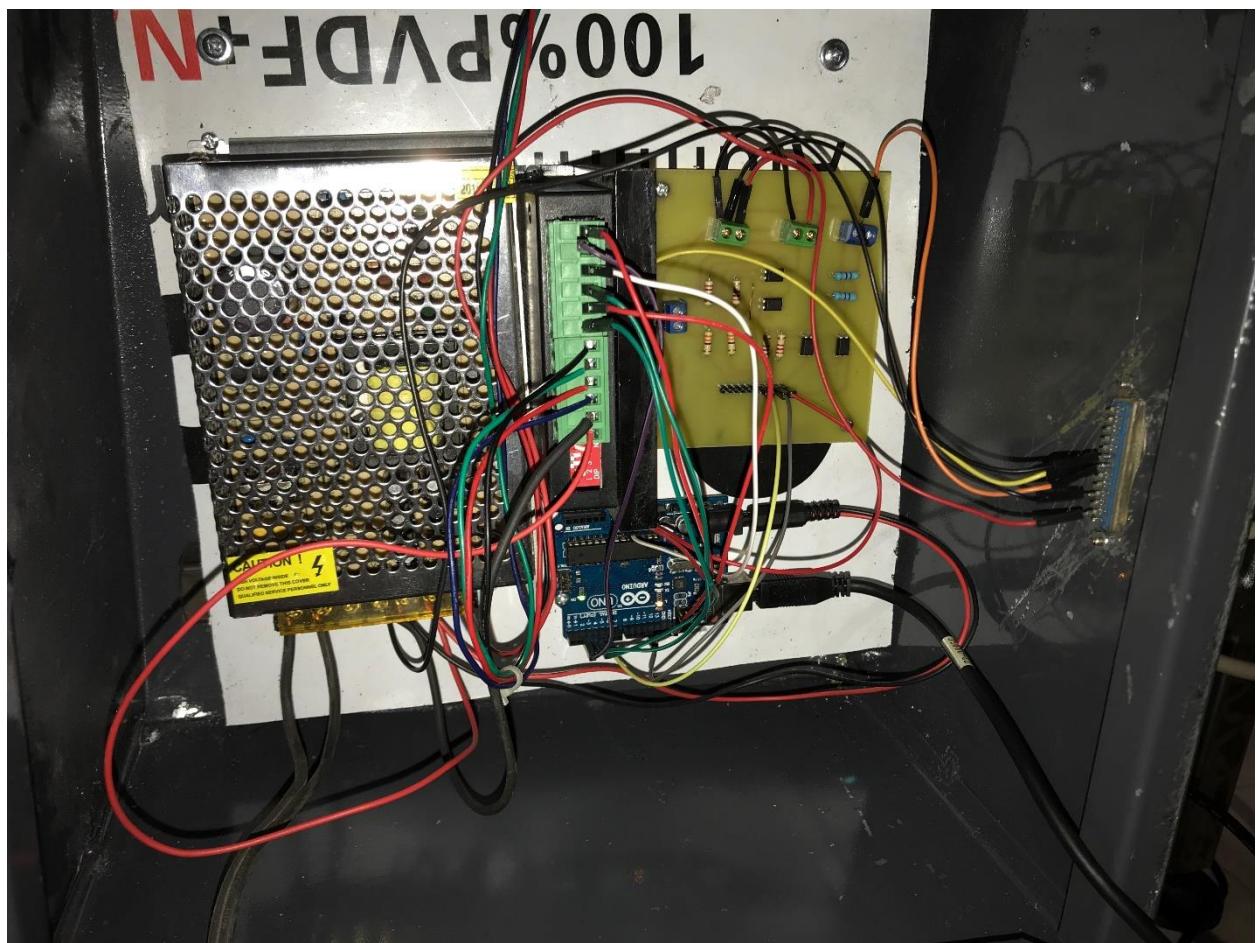


Figura 3.7 Fuente, driver de motor de pasos, placa Arduino UNO y placa de adecuación de nivel de voltaje

Finalmente se logró realizar la implementación del nuevo eje externo en forma de plataforma giratoria utilizando los elementos: fuente de 12 voltios, motor de pasos Nema 23, driver del motor de paso 5a cnc Router dc eléctrico servo Arduino, Arduino Uno, terminal de bus de datos de 25 pines (comunicación MPI) y placa de adecuación de nivel de voltaje, todo esto se muestra en la Figura 3.7.

En las Figuras 3.8 y 3.9 se muestra cómo queda el diseño final del robot junto con el nuevo grado de libertad externo en forma de plataforma giratoria.

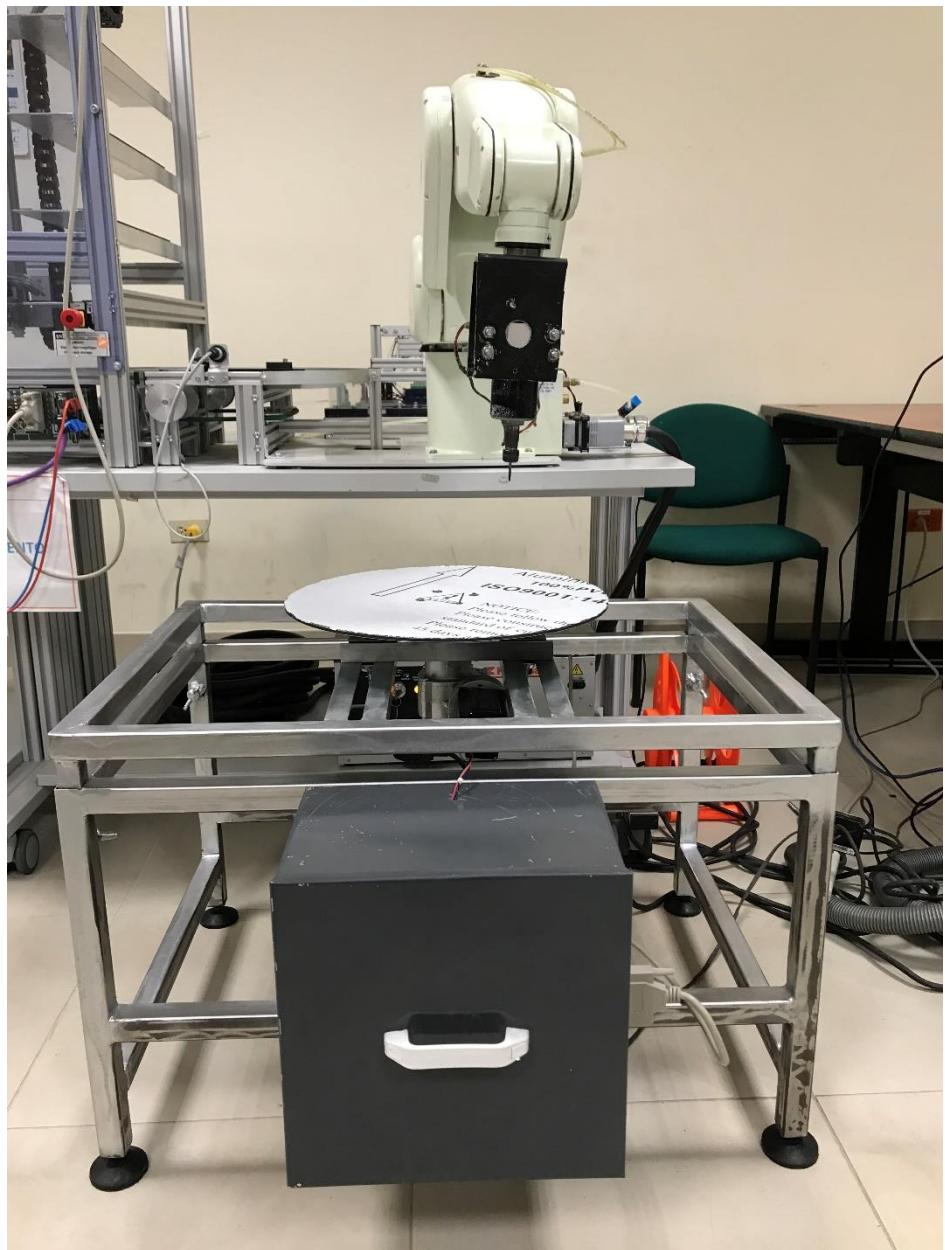


Figura 3.8 Robot Kawasaki RS03N junto con la plataforma giratoria externa como grado de libertad vista de frente

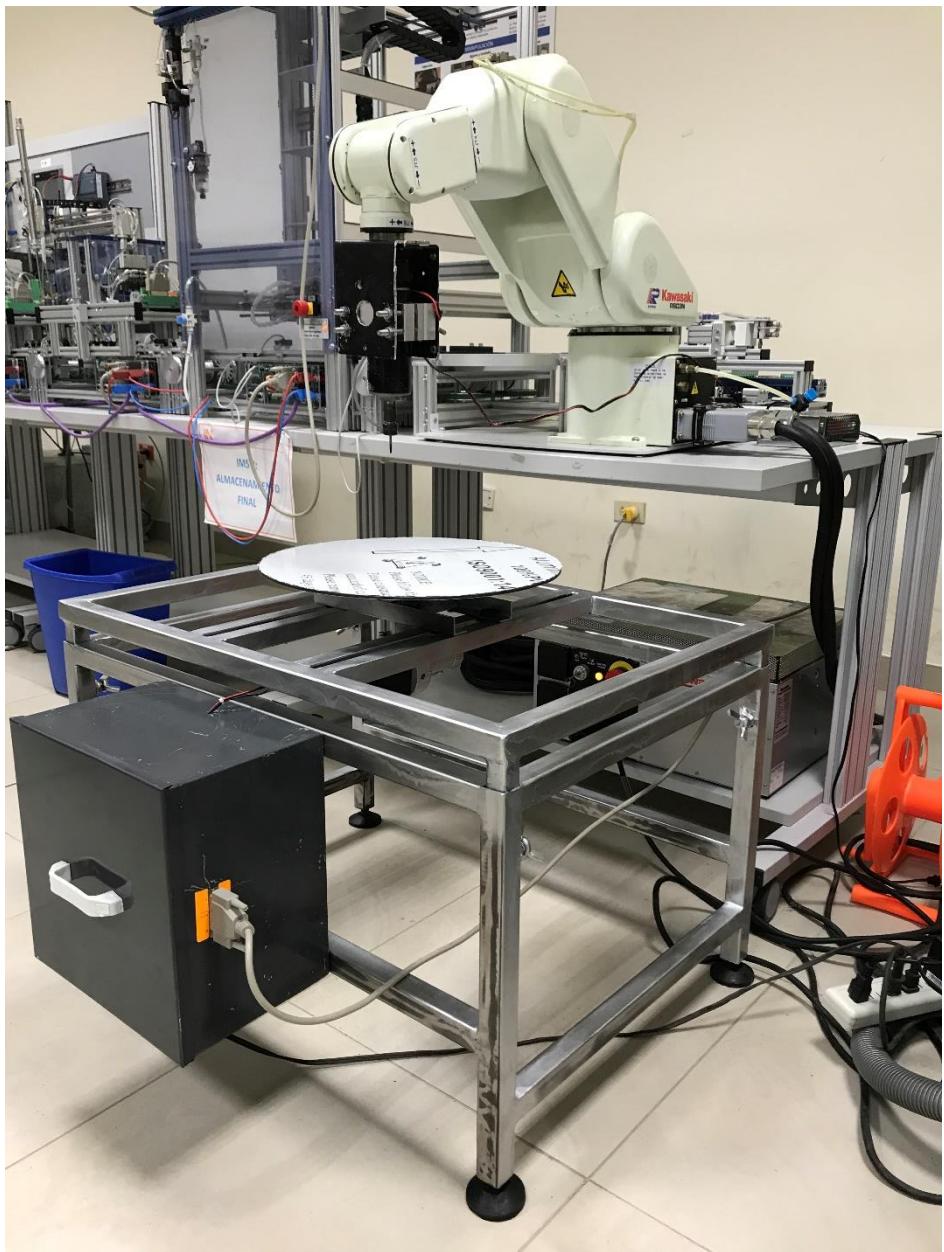


Figura 3.9 Robot Kawasaki RS03N junto con la plataforma giratoria externa como grado de libertad vista de lado

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se logró implementar y sincronizar el séptimo grado de libertad en forma de plataforma giratoria externa con el robot Kawasaki RS03N, con esta se tiene un nuevo alcance en el área del trabajo del 50% respecto al radio de la plataforma giratoria.
- El entorno gráfico diseñado fue el adecuado para la simulación y observación de colisiones.
- La comunicación y sincronización del nuevo eje externo con el controlador del robot se lo llevó acabo por medio de los terminales -X1 - X2 y -X3, donde con el diseño de un código permitirá el control del movimiento del motor de pasos que a su vez permitirá el movimiento de la plataforma giratoria.
- El motor de paso se mueve cada 1.8° . En su driver está seleccionado para que trabaje a 3.3 [A] porque el motor no va a trabajar permanentemente, entonces se lo puede exigir un poco más.
- El reductor que tenemos posee una relación de 6.25 a 1, con lo cual el motor de pasos tiene que dar 6.25 vueltas para que la plataforma complete una vuelta.

Recomendaciones

- Para realizar las simulaciones es recomendable que solo se utilice el entorno del laboratorio de control de procesos industriales para visualizar colisiones entre el entorno y el robot, cuando se desea realizar pruebas de sincronización y aplicación (pintura, impresión, paletizado, etc.) es mejor ejecutarlas sin el entorno debido a que luego la simulación se volverá lenta por los recursos de procesamiento que necesita el software.

- Ya implementado el séptimo grado de libertad se puede realizar mecanizado en tres dimensiones de una forma más profesional con modelos más complejos.
- No se recomienda colocar objetos que sobrepasen un peso mayor de 30 kilogramos.
- El software KTerminal detecta al controlador F60 como tipo E Series a pesar que en el manual del robot se especifica que es tipo F Series.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., «Manual de Instalación y Conexión del Robot Kawasaki RS03N,» KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD, Tokio, 2010.
- [2] M. Á. M. A. / H. O. G. Bobadilla, «Inteligencia Artificial,» wordpress, 17 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://freedomforlife.wordpress.com/contacto/>. [Último acceso: 14 julio 2019].
- [3] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., «Standard specification RS003NFF60,» Kawasaki Heavy Industries, LTD., Tokio, 2018.
- [4] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., *Kawasaki Robot Controller E Series OPERATION MANUAL*, Tokio: KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., 2009.
- [5] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., *Kawasaki Robot Controller E Series AS LANGUAGE REFERENCE MANUAL*, Tokio: KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., 2010.
- [6] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD., *F_Controller-Installation_and_Connection_Manual-E*, Tokio: KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD, 2016.
- [7] ELECTROPRO, «CONTROLAR UN MOTOR DE PASOS CON DRIVER HY-DIV268N-5A,» electropro, Piura, 2017.
- [8] pighxxx, «COOL COMPONENTS,» NN, 05 Abril 2013. [En línea]. Available: <https://coolcomponents.co.uk/products/arduino-uno-revision-3>. [Último acceso: 05 Septiembre 2019].

APÉNDICES

ANEXOS

A continuación, presentaremos describir los elementos usados para el desarrollo del proyecto.

Estructura de mesa metálica

Es la base que sostendrá la mesa ajustable y la plataforma giratoria junto con el motor y su driver. Los tubos cuadrangulares usados tienen un espesor de 9 cm^2 . En la Figura 4.1 se muestra la mesa metálica con sus medidas.

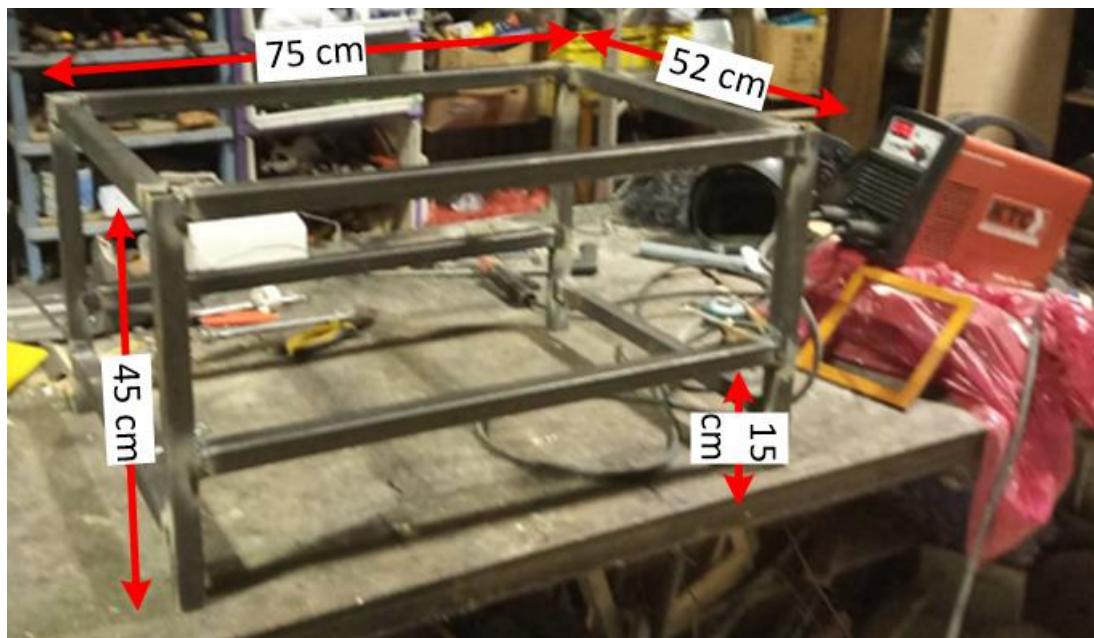


Figura 4.1 Estructura de la mesa metálica

Mesa ajustable

La mesa ajustable fue diseñada para poder ajustar la altura a la que estará la plataforma giratoria versus el robot Kawasaki RS03N. Los tubos rectangulares usados tienen un espesor de 4 cm^2 .

Recordemos que la altura de desde el suelo hasta la mesa que sostiene el robot es de 75 cm. En la Figura 4.2 y 4.3 se mostrará lo antes expresado.



Figura 4.2 Mesa para ajustar la altura de la plataforma giratoria



Figura 4.3 Altura desde el suelo hasta la mesa que sostiene al robot Kawasaki RS03N

Fuente de poder

Es la fuente de poder que energizará el motor, su entrada es de 120 V y su salida es de 12 V y un amperaje de 3.5 A.

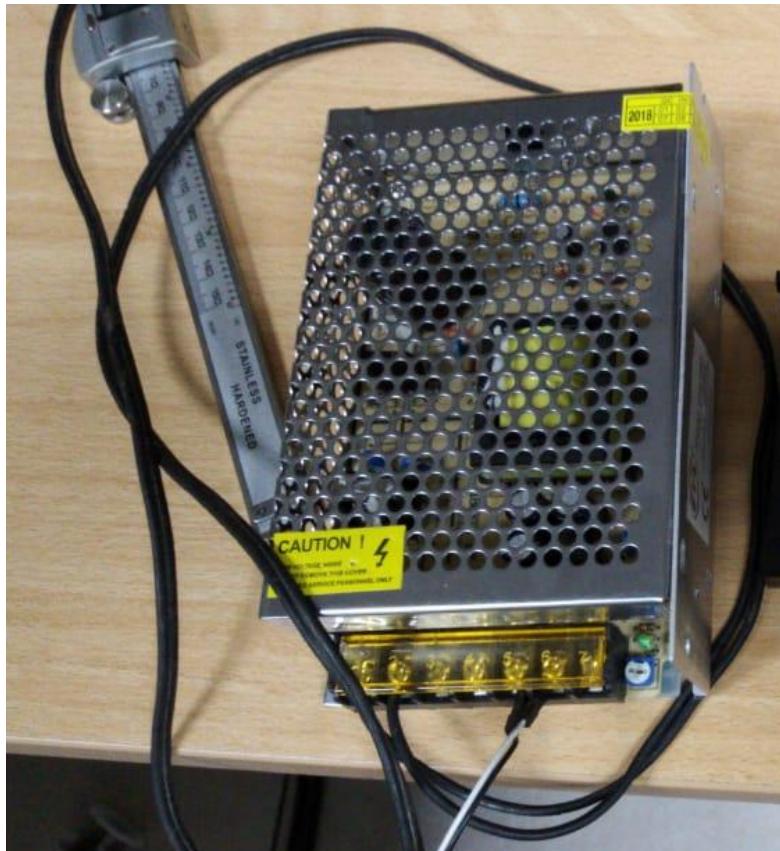


Figura 4.4 Fuente de poder

Motor de pasos Nema 23 junto con driver Motor Paso 5a cnc Router dc Electrico Servo Arduino

Es el motor de paso Nema 23 y su driver que manejará el voltaje y la corriente del motor. En la Figura 4.5 se muestra los dispositivos antes mencionados.

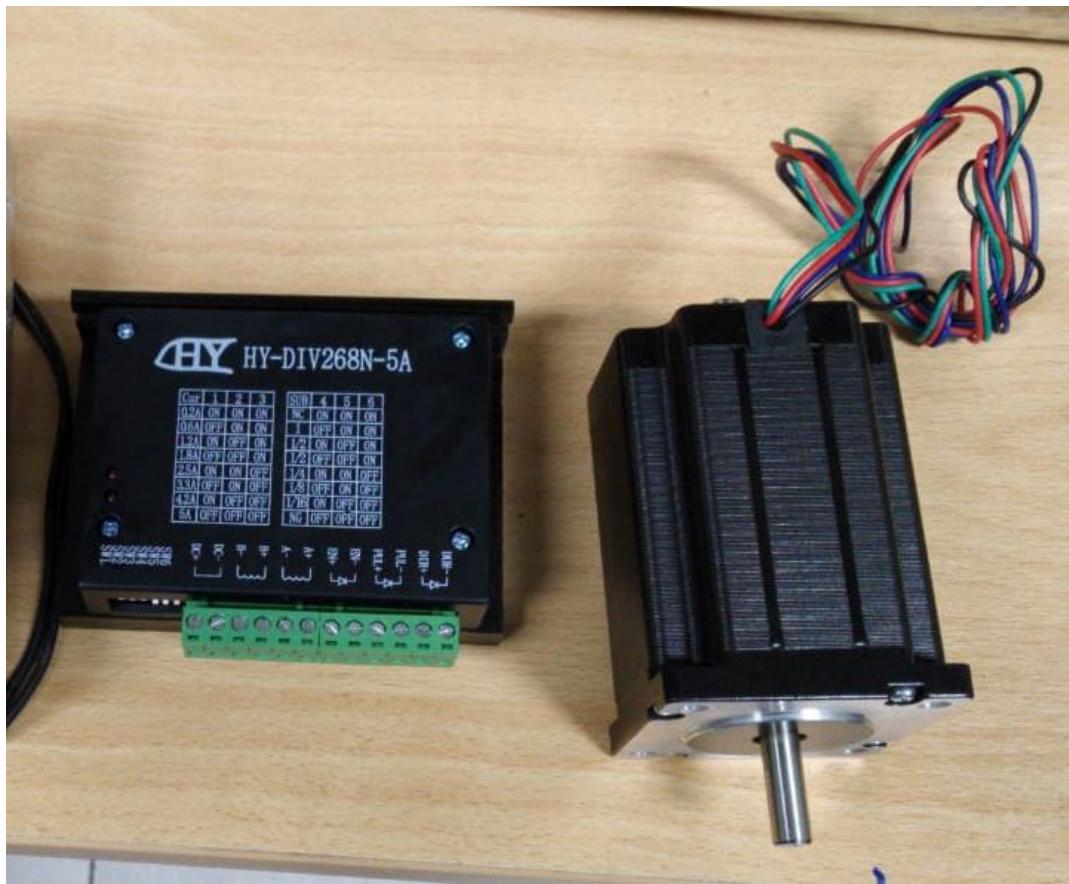


Figura 4.5 Motor de pasos Nema 23 y driver de motor HY-DIV268N-5

Engranaje reductor de vueltas de motor de paso

Este dispositivo nos ayudará a disminuir el número de vueltas del motor en una relación de 6.25 a ,1 para que gire la plataforma externa al robot.



Figura 4.6 Engranaje para reducción de vueltas

Lámina de alucobond

El alucobond – ACM (Material Compuesto por Aluminio), es una lámina de aluminio compuesto que debido a sus propiedades de resistencia y bajo peso, es preferido para aplicaciones y en acabados de exteriores.



Figura 4.7 Lámina circular de alucobond

Tarjeta Arduino Uno con microcontrolador ATMEGA328P-PU

Se usó la tarjeta Arduino Uno para la adquisición de datos y se programó un código, visto en la sección 2.2.3, en el microcontrolador ATMEGA328P-PU. A continuación, se visualiza en la Figura 4.5 todos los detalles de esta tarjeta y sus componentes.

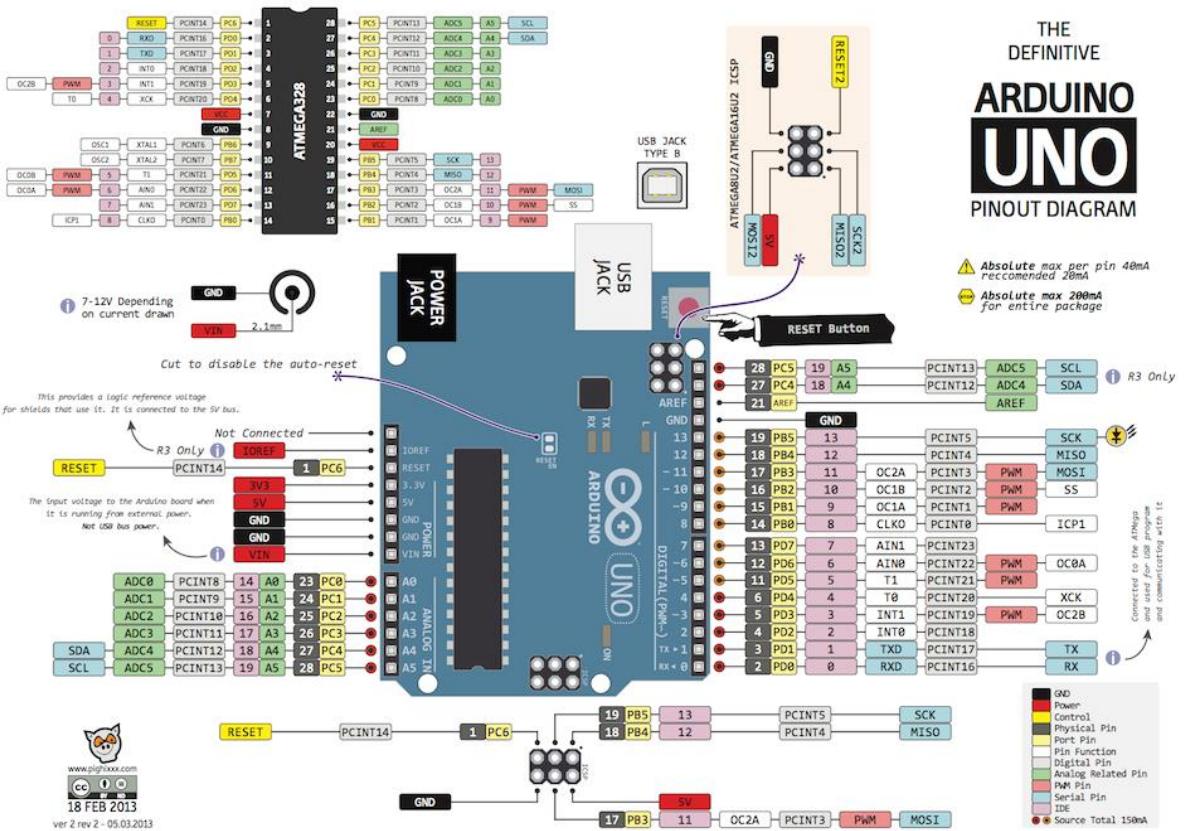


Figura 4.8 Tarjeta Arduino Uno [8]

Diseño del circuito de adecuación de nivel voltaje para el controlador del robot y el microcontrolador Arduino

Esta placa fue diseñada para la adecuación del voltaje de las señales de entrada y salida del robot junto con la del microcontrolador Arduino UNO.

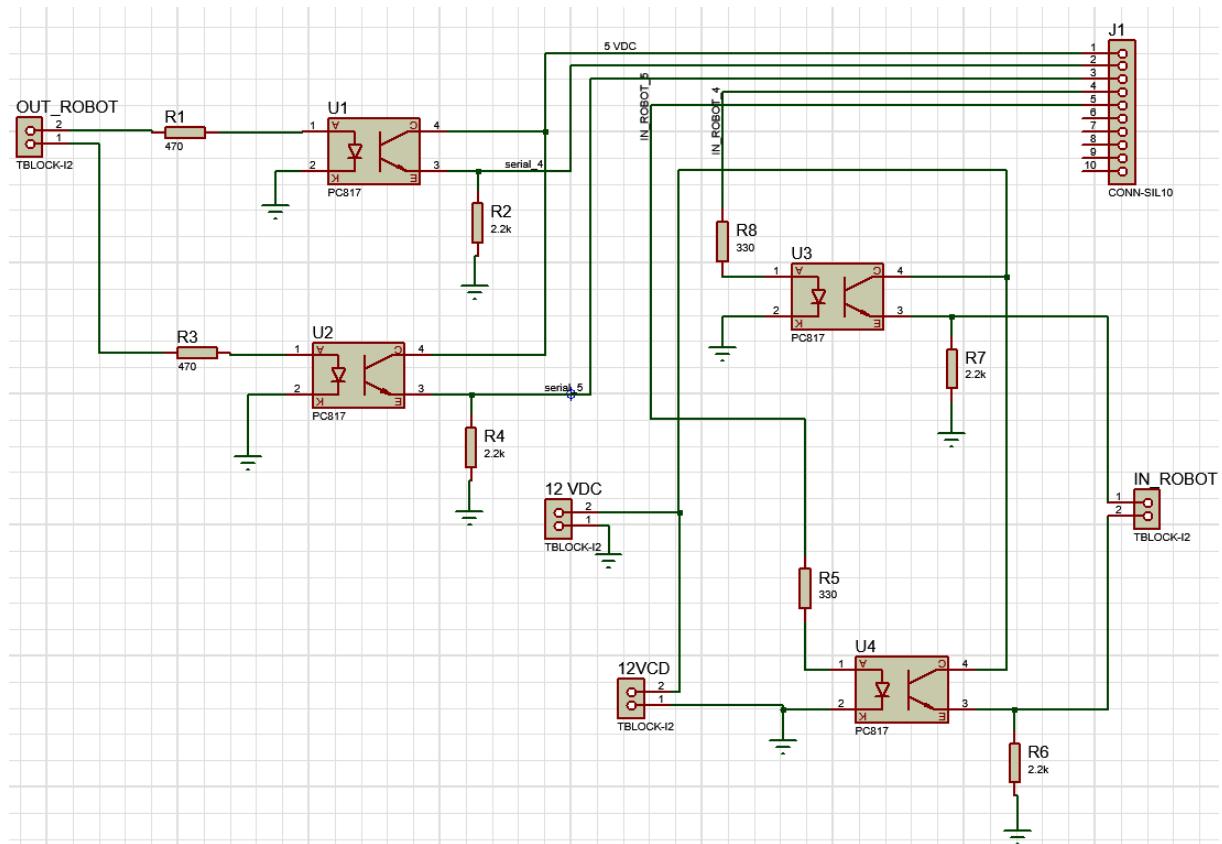


Figura 4.9 Diseño del circuito en el software Proteus

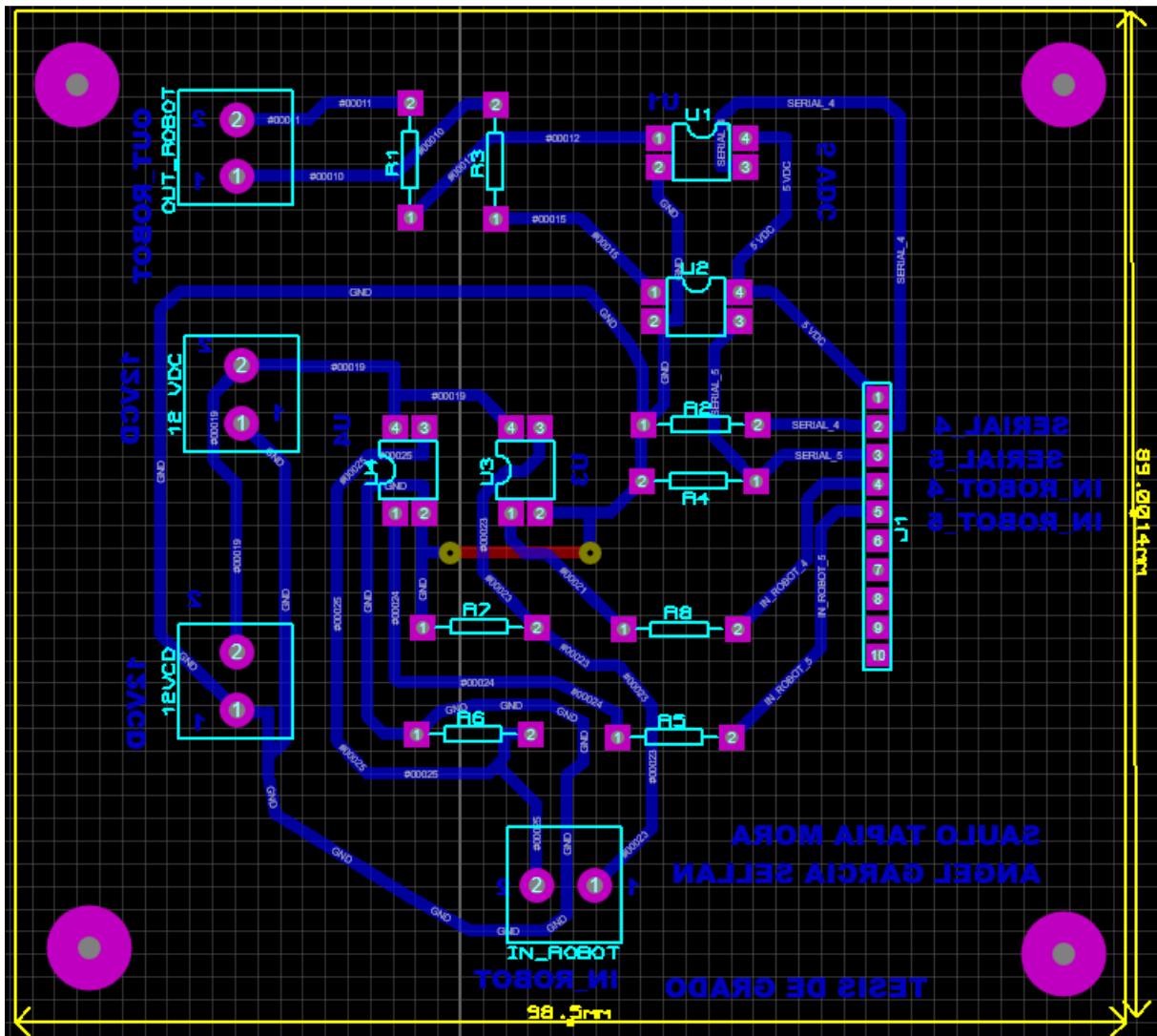


Figura 4.10 Diseño del circuito impreso

APÉNDICE A

ANÁLISIS FINANCIERO

Estimación de la Demanda

La demanda de las carreras de pregrado y postgrado crecerá en un 10%, debido a las renovaciones que se ejecutan en los equipos de trabajo, mejorando la calidad de educación e innovando en el área de robótica.

AÑOS	No. de estudiantes pregrado-ROBOT ACTUAL	No. de estudiantes postgrado-ROBOT ACTUAL	% crecimiento de la demanda-ROBOT MEJORADO- I+D	No. de estudiantes pregrado-ROBOT MEJORADO	No. de estudiantes postgrado-ROBOT MEJORADO
1	40	40	5%	42,00	42,00
2	45	42	15,00%	51,75	48,30
3	40	40	25,00%	50,00	50,00
4	45	43	35,00%	60,75	58,05
5	40	40	45,00%	58,00	58,00
6	40	43	55,00%	62,00	66,65
7	40	42	65,00%	66,00	69,30
8	40	41	75,00%	70,00	71,75
9	40	40	85,00%	74,00	74,00
10	40	43	95,00%	78,00	83,85

ELABORACION DE LA PLATAFORMA GIRATORIA EXTERNA	
MATERIALES	
MOTOR de pasos Nema 23	100,00
DRIVER HY-DIV268N-5	40,00
REDUCTOR	45,00
FUENTE 12[V] – 3.5[A]	16,00
FIERROS+SOLDADURA	70,00
CAJA METALICA	20,00
IMPRESIÓN CIRCUITO ELECTRÓNICO	15,00
MATERIALES ELECTRÓNICOS	3,00
PINTURA	6,00
TOTAL	315,00
MANO DE OBRA	
ESTRUCTURA	80,00
SOLDADURA	7,50
TOTAL	87,50

INVERSION	\$ 402,50
-----------	-----------

FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO A 10 AÑOS -ROBOT Kawasaki RS03N

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS											
Ingresos estudiantes pregrado		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ingreso estudiantes postgrado		400,00	420,00	400,00	430,00	400,00	430,00	420,00	410,00	400,00	430,00
TOTAL INGRESOS		400,00	420,00	400,00	430,00	400,00	430,00	420,00	410,00	400,00	430,00
COSTOS											
Software RoboDK (Licencia educativa)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energía eléctrica		80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Depreciación		428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57
TOTAL DE COSTOS		(508,57)									
Inversión Inicial											
FLUJO DE CAJA		(108,57)	(88,57)	(108,57)	(78,57)	(108,57)	(78,57)	(88,57)	(98,57)	(108,57)	(78,57)

VAN (VALOR ACTUAL NETO) **(\$ 586,68)**

FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO A 10 AÑOS -ROBOT Kawasaki RS03N CON PLATAFORMA GIRATORIA EXTERNA

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS											
Ingresos estudiantes pregrado		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ingreso estudiantes postgrado		420,00	483,00	500,00	580,50	580,00	666,50	693,00	717,50	740,00	838,50
TOTAL INGRESOS		420,00	483,00	500,00	580,50	580,00	666,50	693,00	717,50	740,00	838,50
COSTOS											
Software RoboDK (Licencia educativa)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento de equipo		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Energía eléctrica		60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Depreciación		428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57	428,57
TOTAL DE COSTOS		(518,57)									
Inversión Inicial		(402,50)									
FLUJO DE CAJA		(402,50)	(98,57)	(35,57)	(18,57)	61,93	61,43	147,93	174,43	198,93	221,43
											319,93

VAN (VALOR ACTUAL NETO)

\$ 262,53 Análisis: A una tasa mínima de rentabilidad del 5% se obtienen \$262,53 de ganacia.

TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

11% Análisis: La inversión para la mejora al robot ofrece hasta un 11% de rentabilidad.

Conclusiones:

- Al mejorar la productividad del robot, los costos por energía y mantenimiento del equipo disminuirán aproximadamente un 25%.
- La inversión se empieza a recuperar en el año 4.
- La implementación de un séptimo grado de libertad en forma de plataforma giratoria externa al robot Kawasaki RS03N es rentable.

