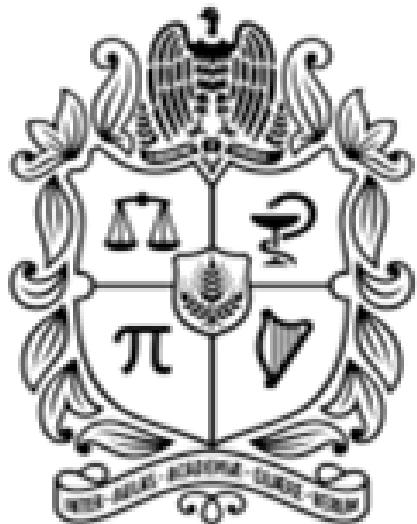


Desarrollo de un ambiente de realidad aumentada para la operación y programación de robots industriales



Autor:

Juan Carlos Gallo Piñeros

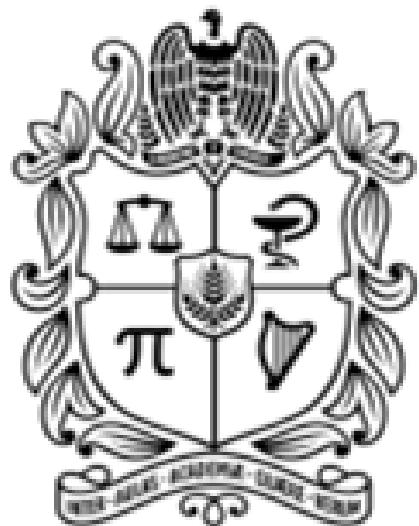
Director:

Ph.D., Pedro Fabián Cárdenas Herrera

Codirector:

Ph.D., Diego Ospina Latorre

Desarrollo de un ambiente de realidad aumentada para la operación y programación de robots industriales



Tesis presentada como requisito parcial para
optar al título de:

Magíster en Ingeniería - Automatización Industrial

Objetivo

General

Desarrollar un sistema inmersivo de realidad aumentada para la operación del robot industrial ABB-IRB140.

Objetivos

Específicos

1. Determinar el aspecto y forma de la interfaz de usuario y presentación de la información.
2. Determinar la herramienta a utilizar para el desarrollo del sistema de realidad aumentada.
3. Desarrollar un software que permita la creación y la representación de una interfaz de realidad aumentada a través del HTC VIVE.
4. Desarrollar un sistema de comunicación entre el sistema de realidad aumentada ejecutado sobre el HTC VIVE y el controlador IRC5 del robot ABB-IRB140.

¿Que es la Realidad Aumentada?

“AR se refiere a las aplicaciones que pueden ofrecer a los usuarios un conjunto de consejos generados por computadora, que se superponen y / o se alinean con el mundo real para ‘aumentarlo’ ” Sanna et al. (2018)

¿Que es la Realidad Aumentada?

Beneficios de la Realidad Aumentada

Reducción de tiempos

Reducción de errores

Mejorar la capacidad espacial

Reducción de la carga de trabajo cognitivo

Acelerar el aprendizaje

Aplicaciones industriales de Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada se consolida como una herramienta prometedora, que proporciona información relevante para el trabajo.



Métodos de programación de robots industriales

Características

Programación *online*

Requiere programadores altamente capacitados

Exposición a riesgos mecánico

Genera tiempos muertos de producción

No es intuitivo y requiere de pruebas y verificación

Los programas carecen de flexibilidad y usabilidad



Métodos de programación de robots industriales

Características

Programación *offline*

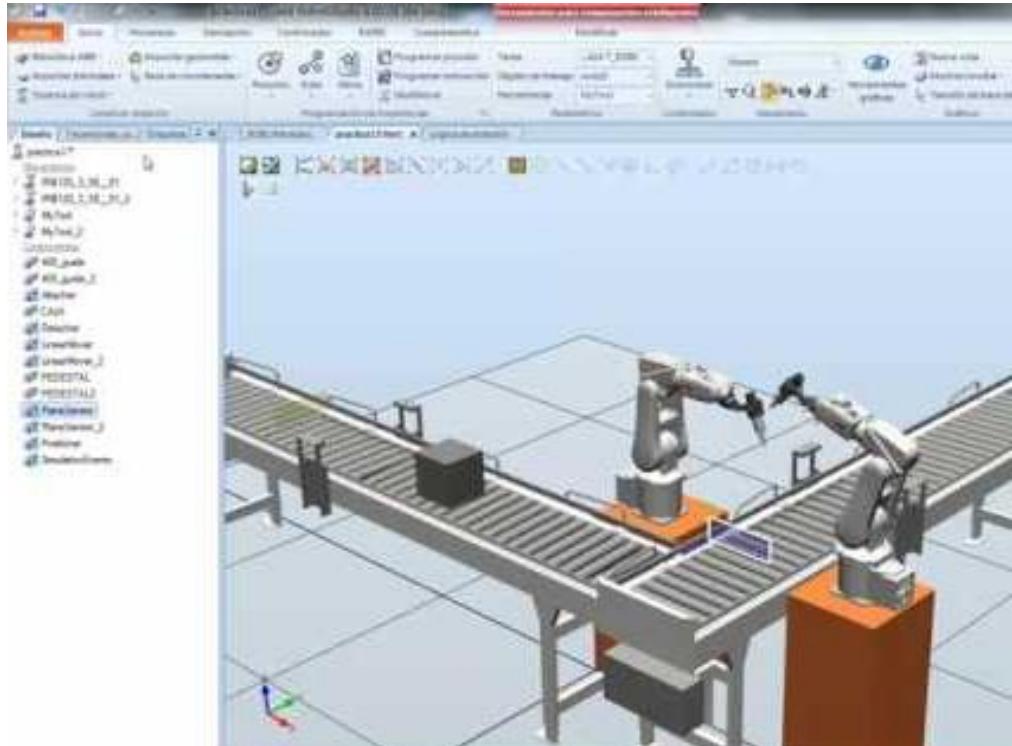
Requiere de modelos 3D del robot y del ambiente que lo rodea

La programación se realiza en un ambiente virtual

Requiere de gran esfuerzo de programación

Exige gran inversión en software de simulación

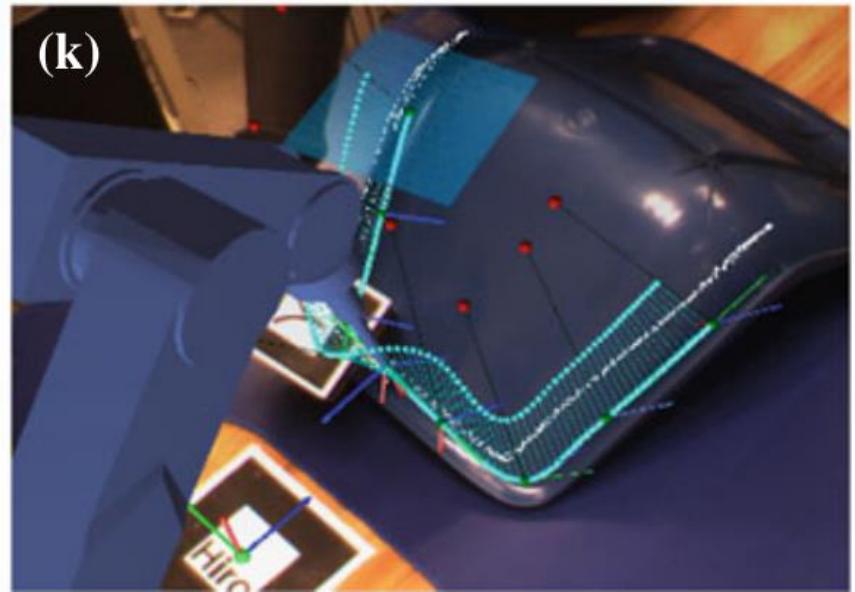
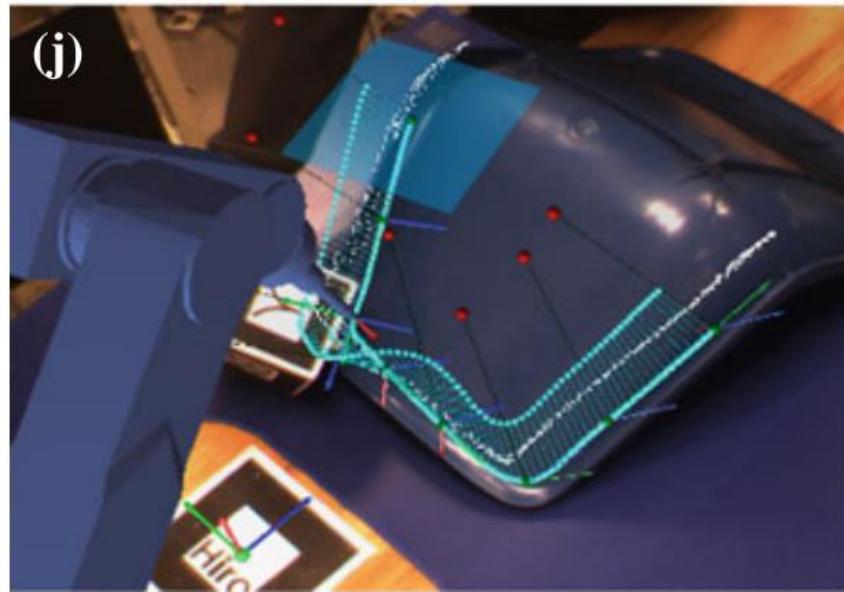
Necesita de grandes tiempos para programar el robot



Antecedentes

A novel augmented reality-based interface for robot path planning

H. C. Fang · S. K. Ong · A. Y. C. Nee



Antecedentes

Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation

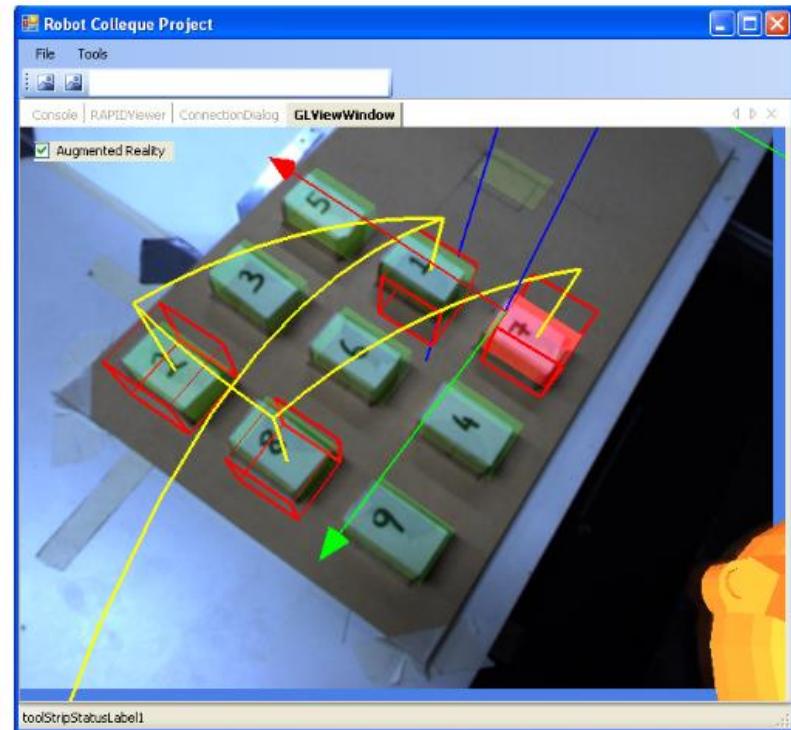
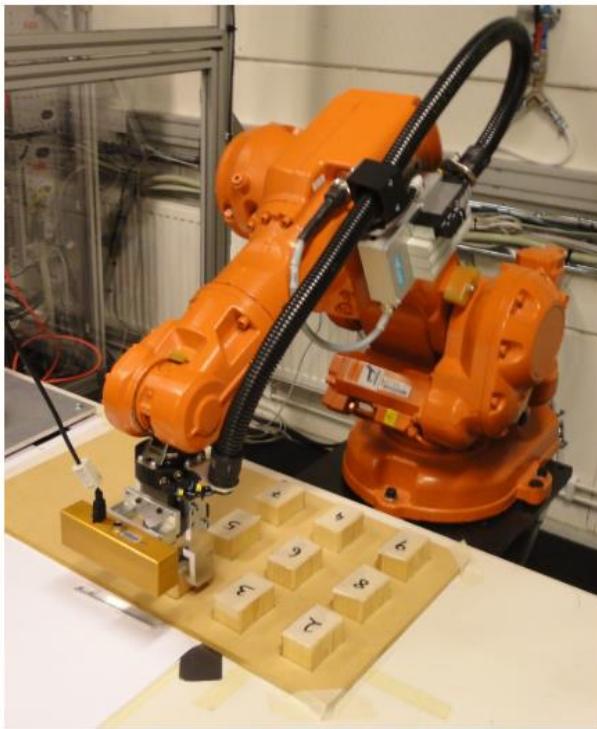
George Michalosa, Panagiotis Karagiannisa, Sotiris Makrisa, Önder Tokçalarb, George Chryssolourisa



Antecedentes

Intuitive Industrial Robot Programming Through Incremental Multimodal Language and Augmented Reality

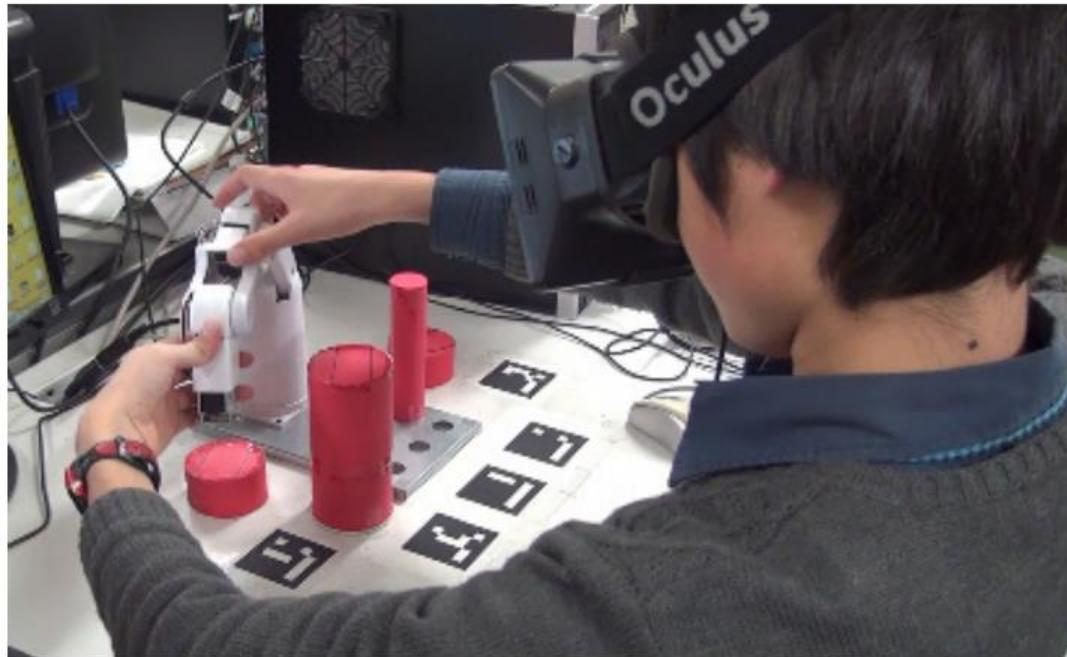
Batu Akan, Afshin Ameri, Baran C, "ur"ukl"u, Lars Asplund



Antecedentes

Robot Programming for Manipulators through Volume Sweeping and Augmented Reality

Yasumitsu SARAI and Yusuke MAEDA



Antecedentes

Robot Programming Through Augmented Trajectories in Augmented Reality

Camilo Perez Quintero, Sarah Li, Matthew KXJ Pan, Wesley P. Chan, H.F. Machiel Van der Loos and Elizabeth Croft



A



B

Metodología

Software

Características

Vuforia

La versión Engine es gratuita

Tiene amplio soporte y documentación

Es compatible con Unity 3D android studio, xcode, y visual studio.

Permite la creación de marcadores de forma sencilla y rápida.

ARtoolkit

Es un software de código abierto con licencia GPL para uso no comercial.

Soporte y documentación limitado.

No existe una versión oficial para Unity 3D.

Los marcadores utilizados están limitados al tipo planar.

Metodología

Software



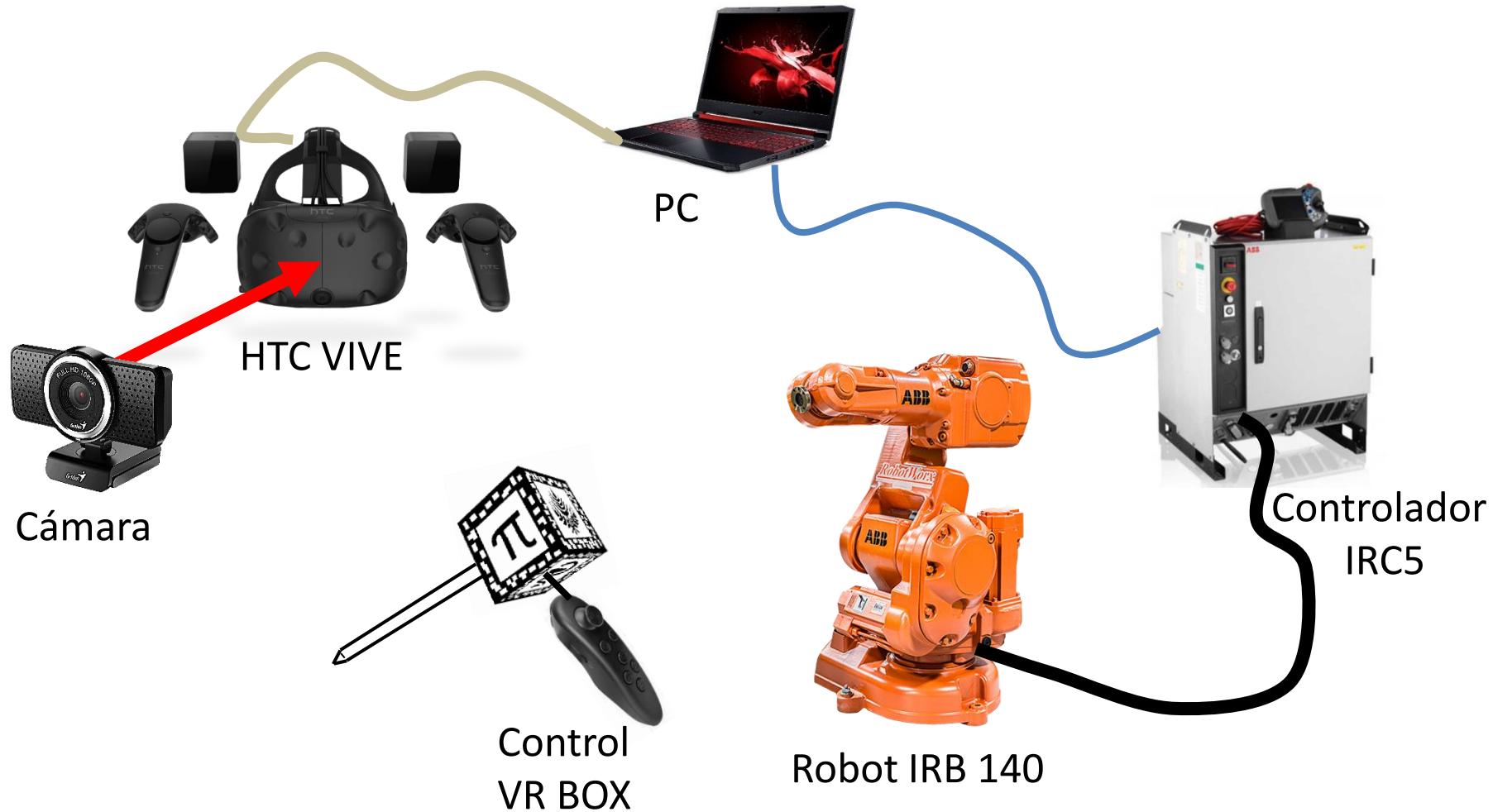
Metodología

Hardware

Característica	Oculus Rift DK2	HTC VIVE Series
Resolución	960 x 1080 en cada ojo	1080 x 1200 pixeles por ojo
Frecuencia de Actualización	60 Hz	90 Hz
Campo de Visión	100°	110°
Sensores	Giroscopio, Acelerómetro, Magnetómetro	Rastreo SteamVR, G-sensor, giroscopio, proximidad
Alivio Ocular	No	Ajuste de distancia Inter pupilar y distancia de lentes

Metodología

Hardware

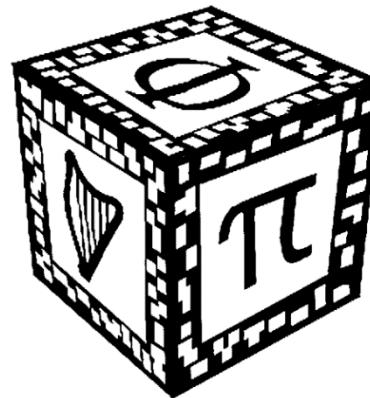


Metodología

Diseño de los marcadores



Marcador plano
Origen de la escena



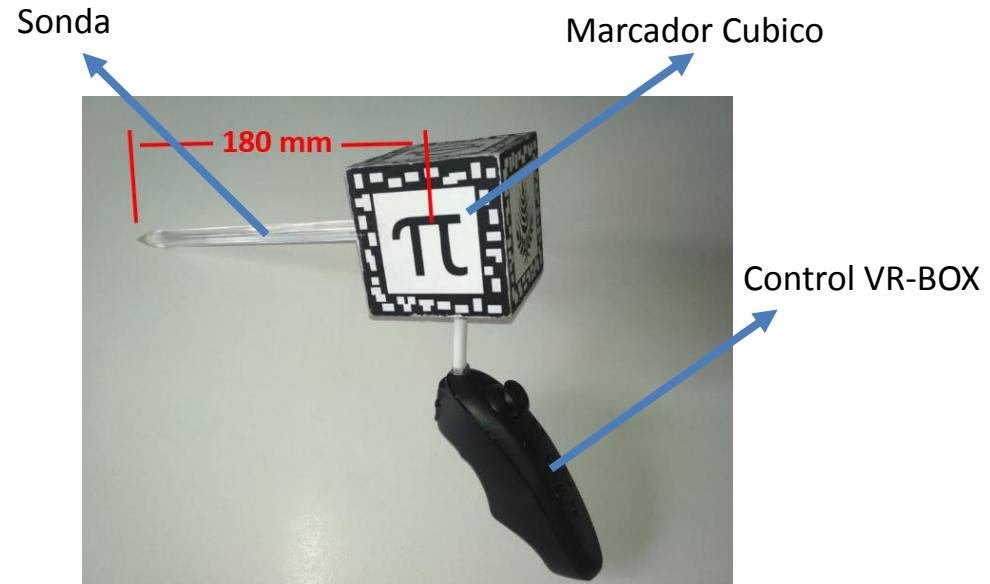
Marcador Cubico

Metodología

Diseño de los marcadores



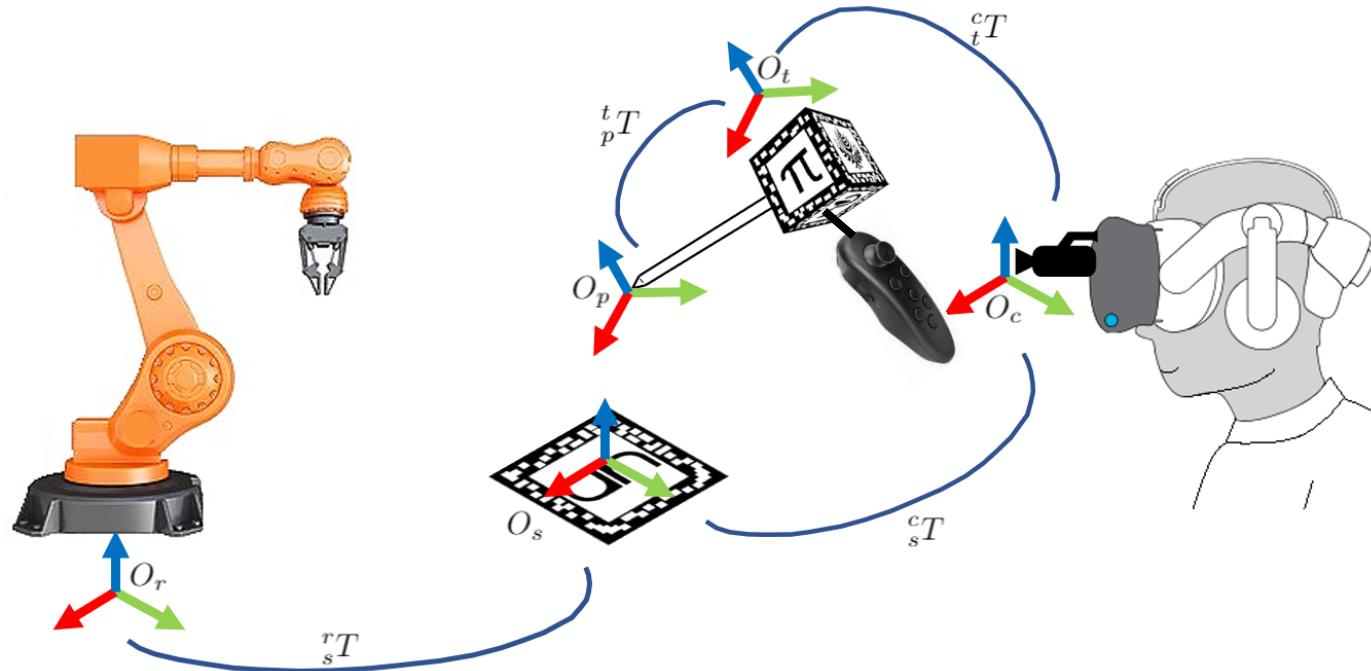
Marcador plano
Origen de la escena



Herramienta de programación

Metodología

Transformaciones del sistema



$$rP = r_sT \ sP$$

$$sP = cT^{-1} \ c_tT \ t_pT \ rP$$

Metodología

Transformaciones del sistema

Cada punto de la trayectoria con respecto al origen de la escena será:

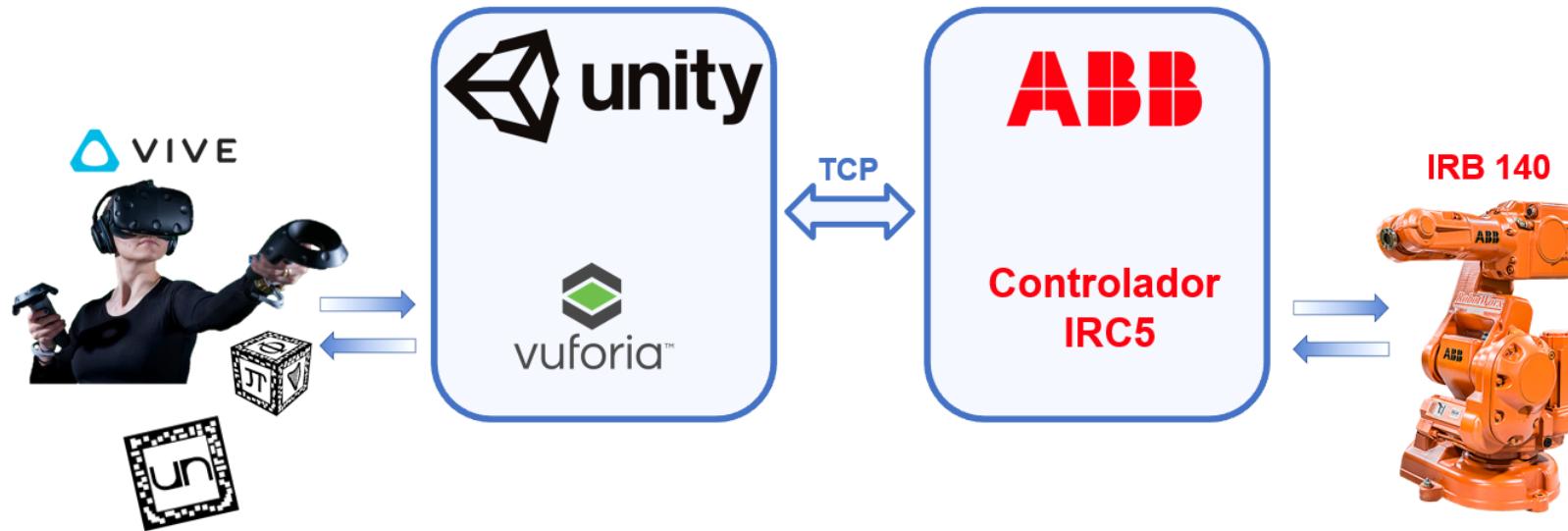
$${}^s P = {}^c_s T^{-1} {}^c_t T {}^t_p T {}^p P$$

Cada punto de la trayectoria con respecto al origen del robot será:

$${}^r P = {}^r_s T {}^s P$$

Metodología

Integración de sistemas



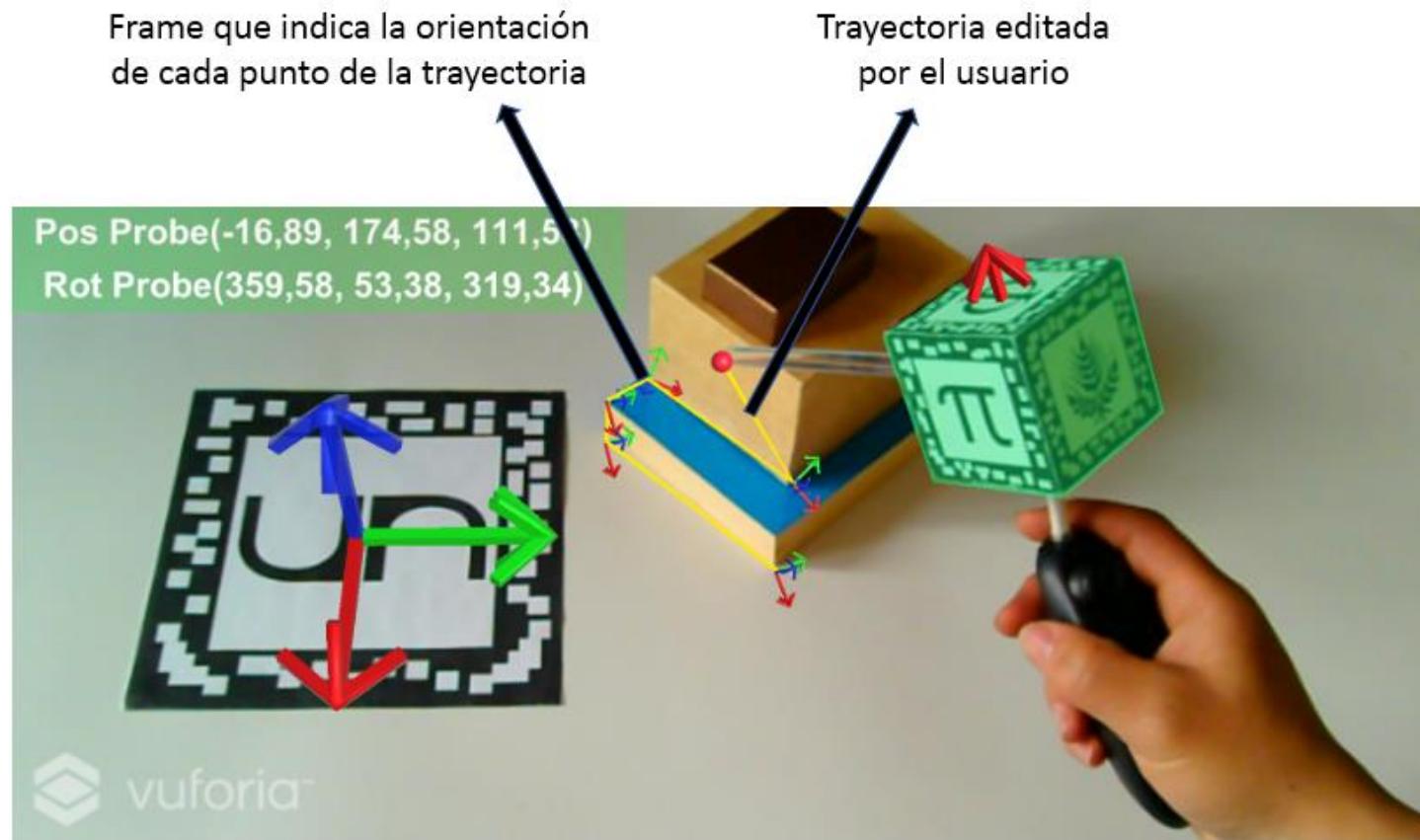
Metodología

Diseño de la interfaz de usuario



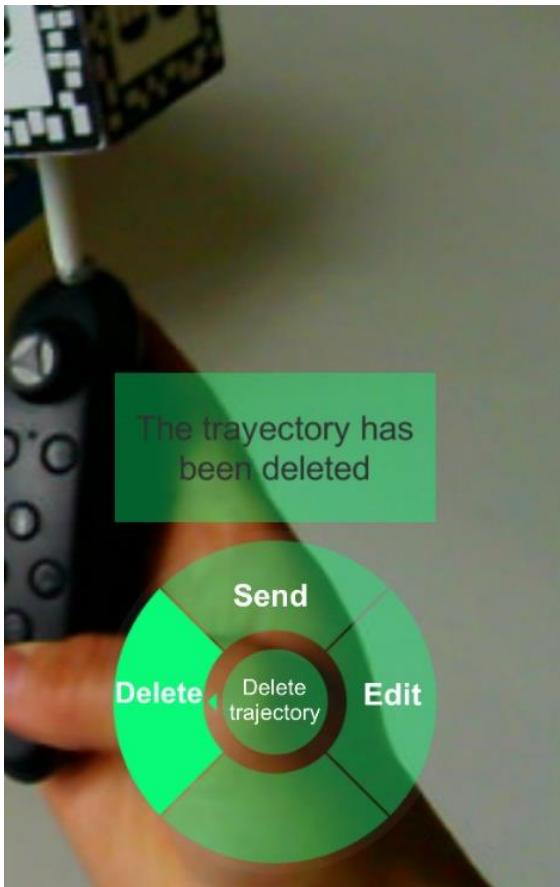
Metodología

Diseño de la interfaz de usuario



Metodología

Descripción del Menú



Delete

Permite borrar todos los puntos de una trayectoria

Send

Permite enviar la trayectoria ya seleccionada al controlador IRC5

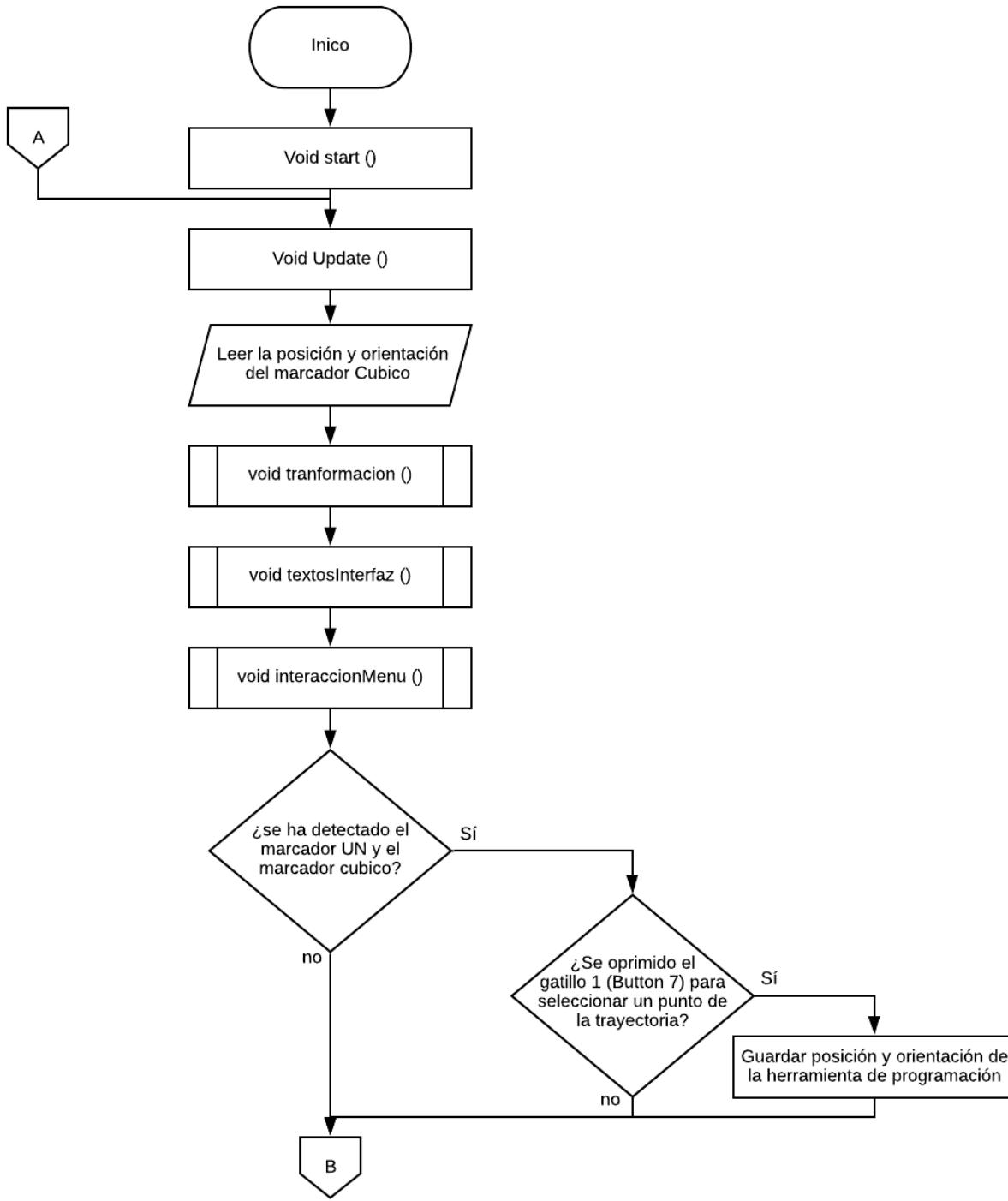
Edit

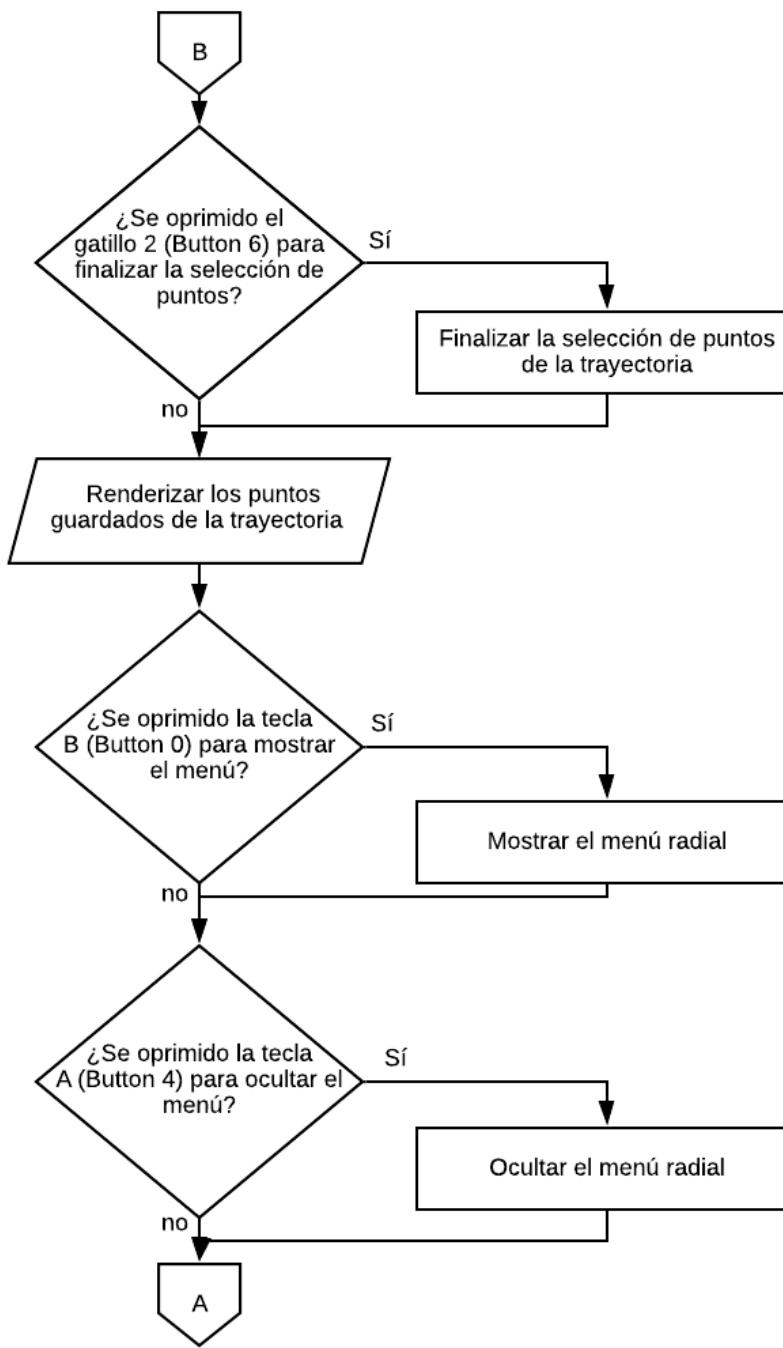
Permite cambiar la posición y/o la orientación de un punto perteneciente a una trayectoria

Metodología

Descripción del mando

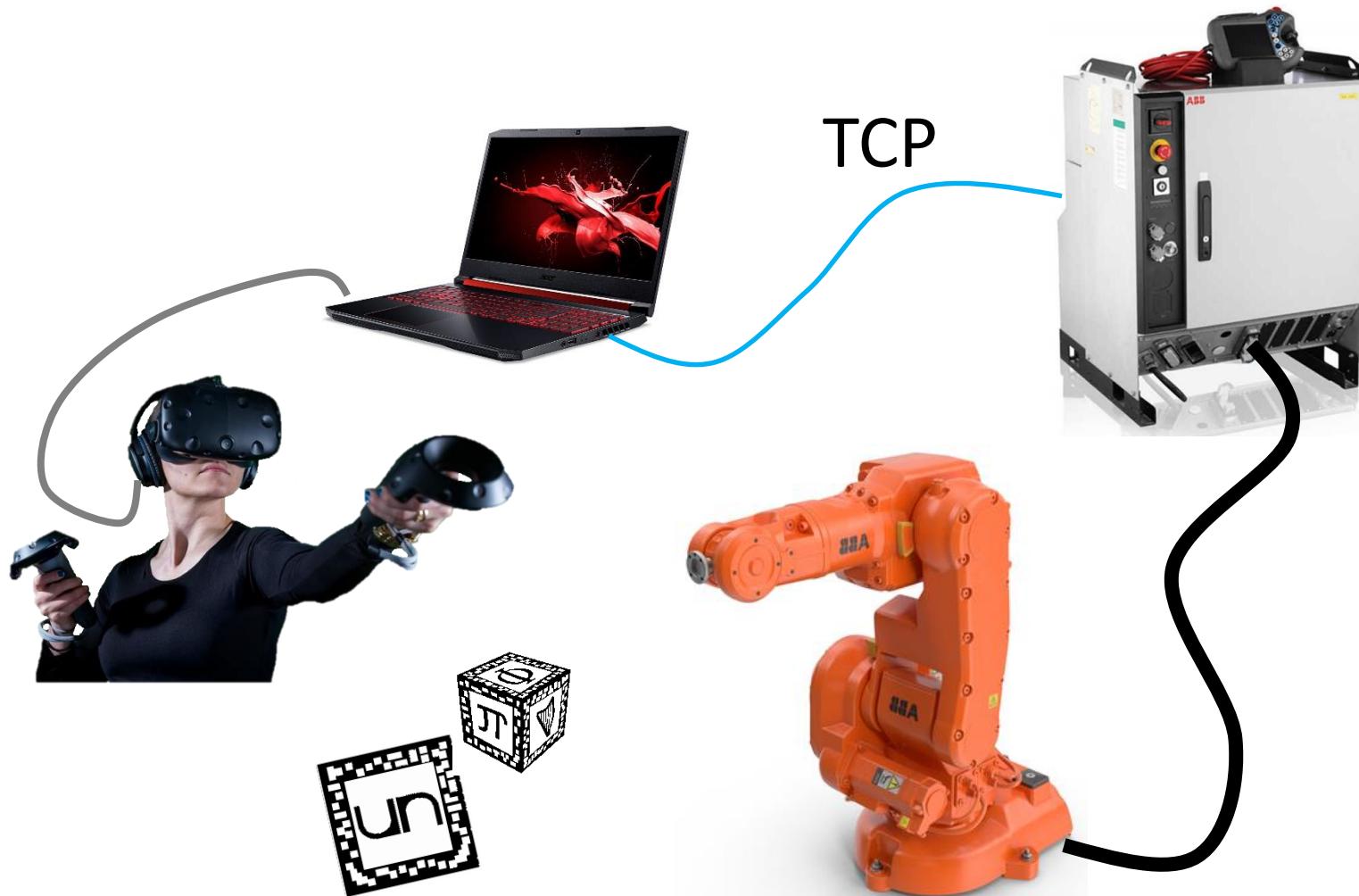


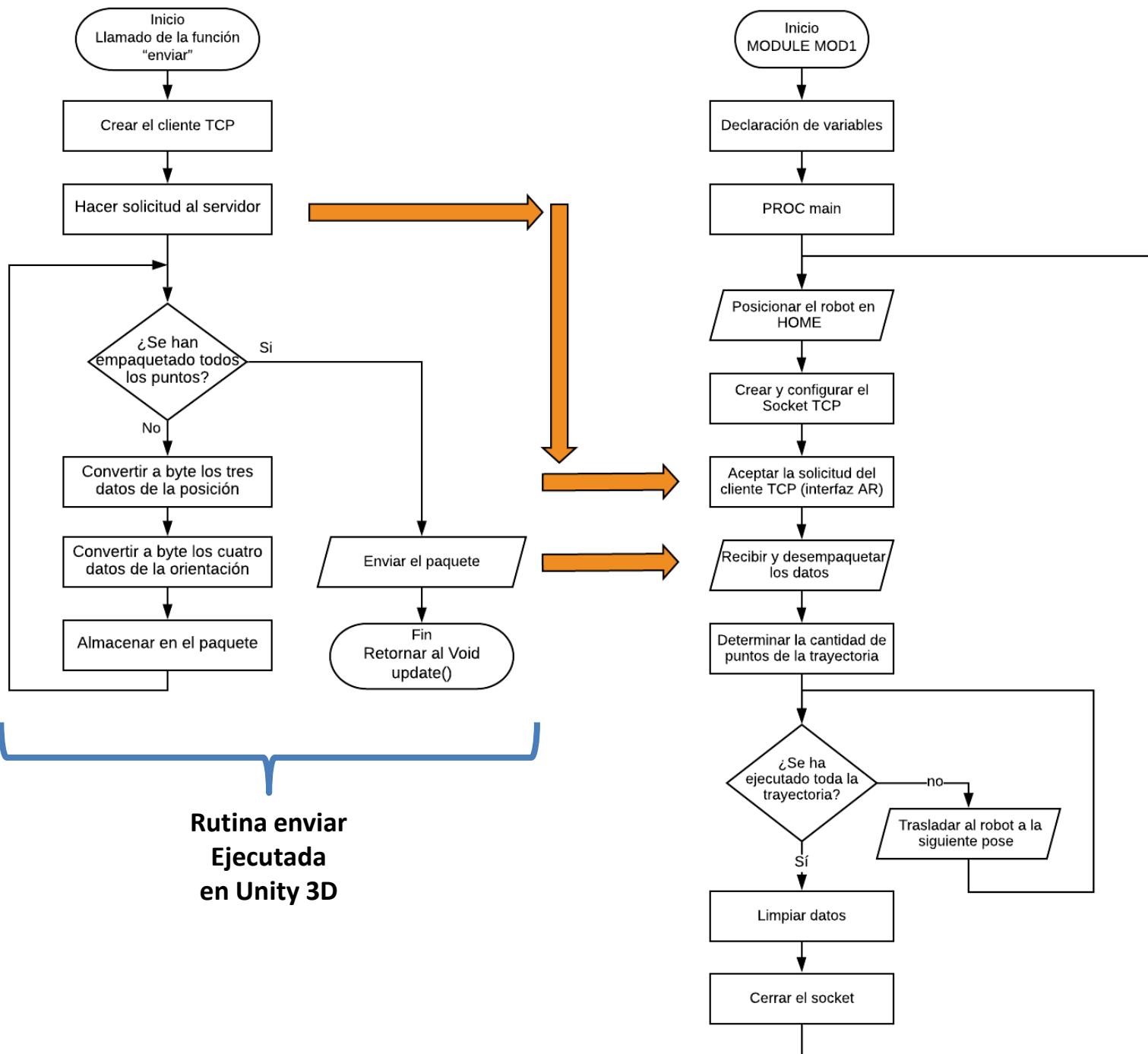




Metodología

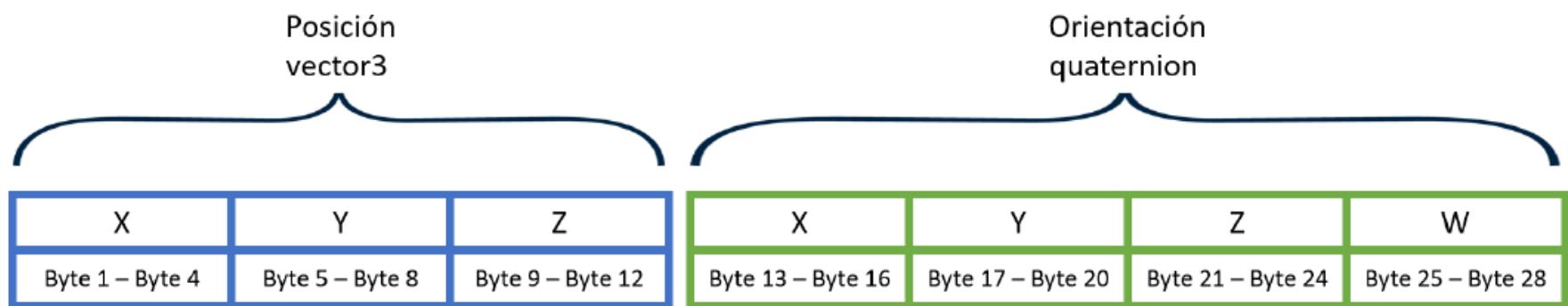
Sistema de comunicación





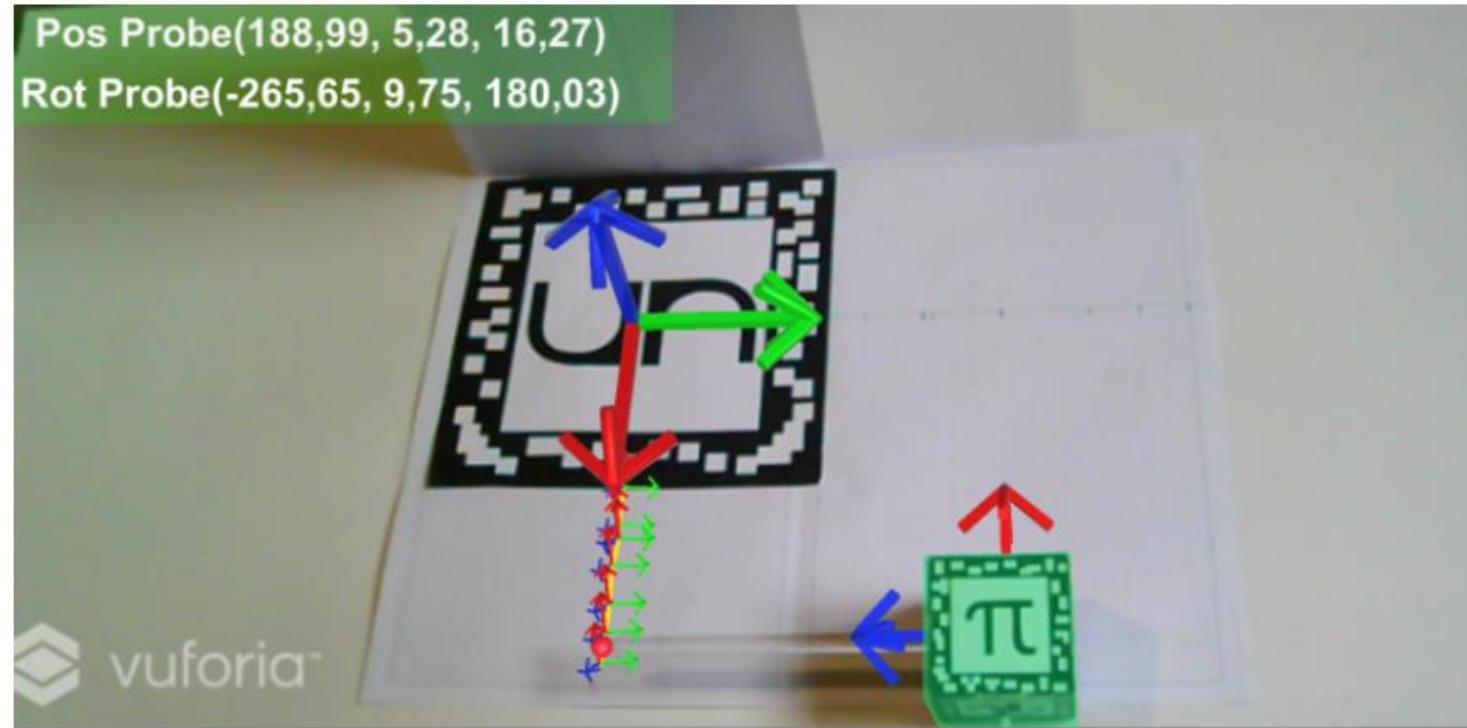
Metodología

Sistema de comunicación



Pruebas y validación

Medición de la posición



Pruebas y validación

Medición de la posición en eje X

Distancia (mm)	Medida sobre eje X (mm)	Porcentaje de error
100	87,7	12,3%
120	108,6	9,5%
150	140,2	6,5%
155	144,7	6,6%
190	178,7	5,9%
235	222,1	5,5%
260	247,8	4,7%
285	273,4	4,1%
Promedio		6,9%

Pruebas y validación

Medición de la posición en eje Y

Distancia (mm)	Medida sobre eje Y (mm)	Porcentaje de error
100	100,3	0,3%
120	120,7	0,6%
150	152,9	1,9%
155	158,7	2,4%
190	193,7	1,9%
235	235,7	0,3%
260	264,8	1,8%
285	290,3	1,9%
Promedio		1,4%

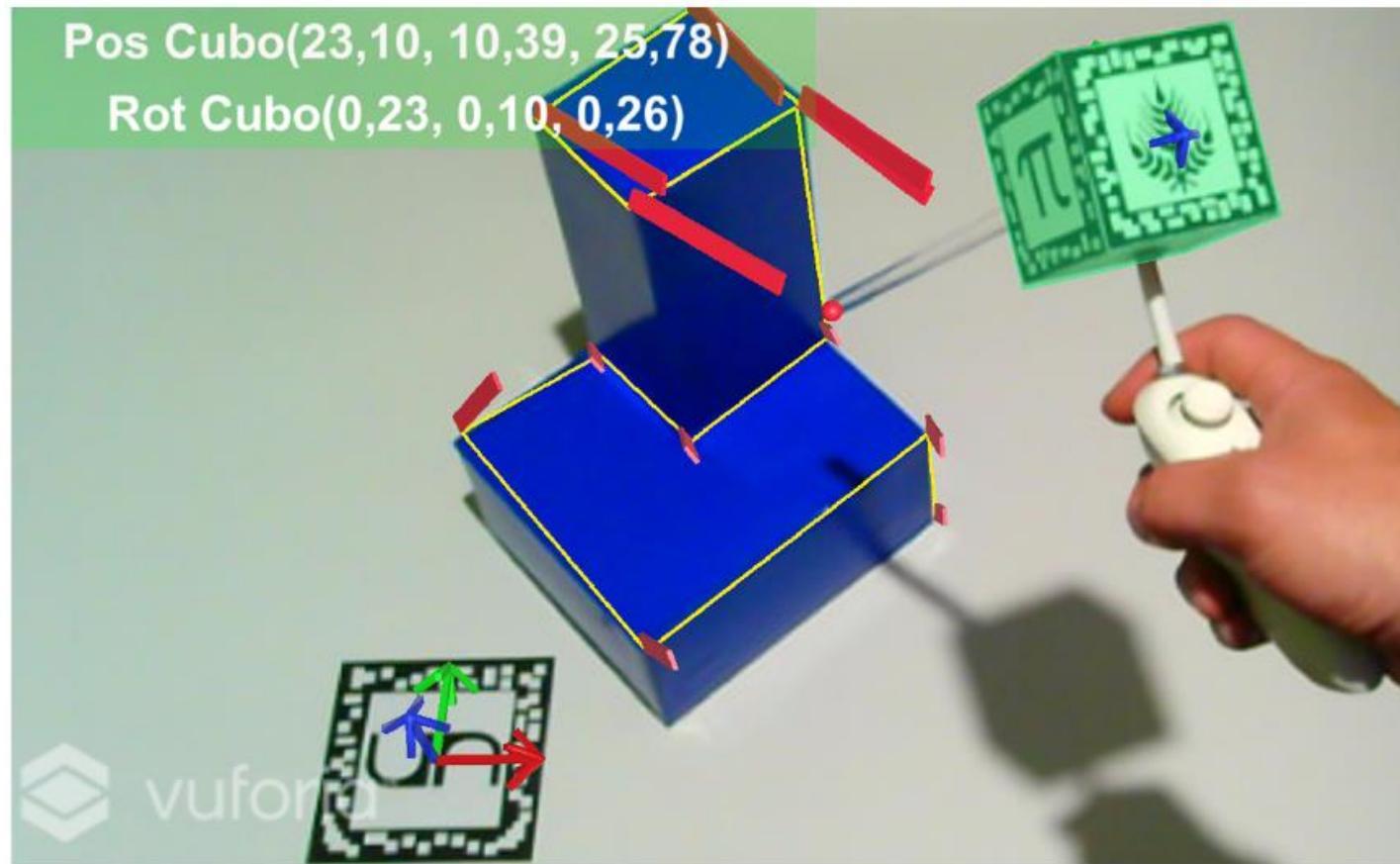
Pruebas y validación

Medición de la posición en eje Z

Distancia (mm)	Medida sobre eje Z (mm)	Porcentaje de error
100	96	4,0%
120	115,5	3,8%
150	144,8	3,5%
155	151,9	2,0%
190	187,3	1,4%
235	232,3	1,1%
260	256,7	1,3%
285	281	1,4%
Promedio		2,3%

Pruebas y validación

Medición de la posición



Pruebas y validación

Medición de la posición

Vértice	Medición con AR (mm)	Valor real (mm)	error%
1	85	88,0	3,6
2	192	198,3	3,3
3	171	176,2	3,0
4	93	88,7	4,6
5	85	80,7	5,1
6	100	99,2	0,8
7	192	191,0	0,5
8	100	99,4	0,6
9	85	79,0	7,1
10	100	94,5	5,5
11	85	82,9	2,5

Pruebas y validación

Medición de la orientación en X

Ángulo	Angulo en Eje X	Error
0	2,4	
45	44,2	1,8%
90	91,1	1,2%
135	135,7	0,5%
180	180,1	0,1%
225	225,8	0,4%
270	270,8	0,3%
315	315,4	0,1%
360	1,3	0,4%
Promedio		0,1%

Pruebas y validación

Medición de la orientación en Y

Ángulo	Angulo en Eje Y	Error
0	1	
45	45,2	0,4%
90	88,3	1,9%
135	135,9	0,7%
180	178,1	1,1%
225	224	0,4%
270	273	1,1%
315	315	0,0%
360	1,4	3,2%
Promedio		0,5%

Pruebas y validación

Medición de la orientación en Z

Ángulo	Angulo en Eje Z	Error
0	0,45	
45	43	4,4%
90	89,5	0,6%
135	134,7	0,2%
180	180,8	0,4%
225	224,3	0,3%
270	271,1	0,4%
315	314,1	0,3%
360	0,1	0,0%
Promedio		0,6%

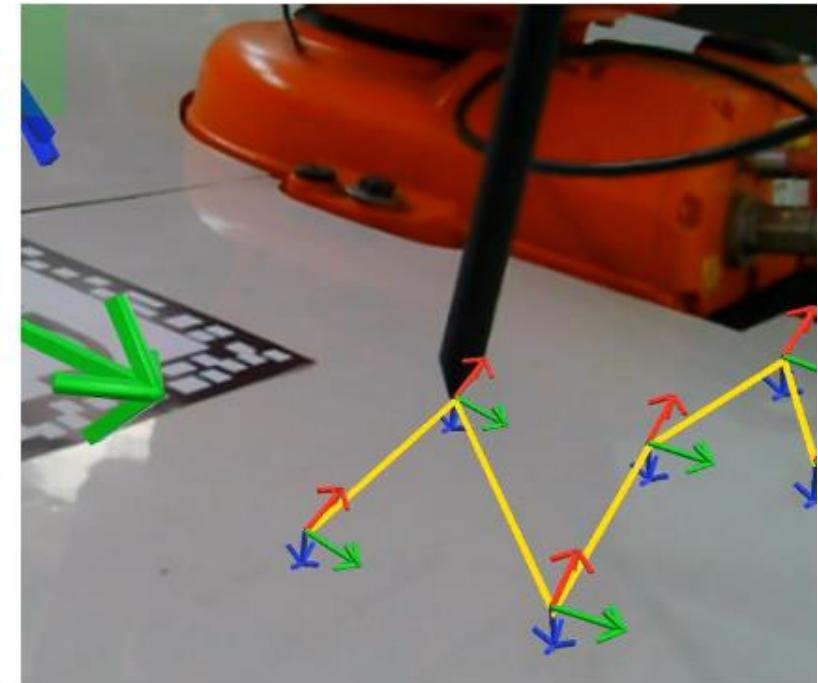
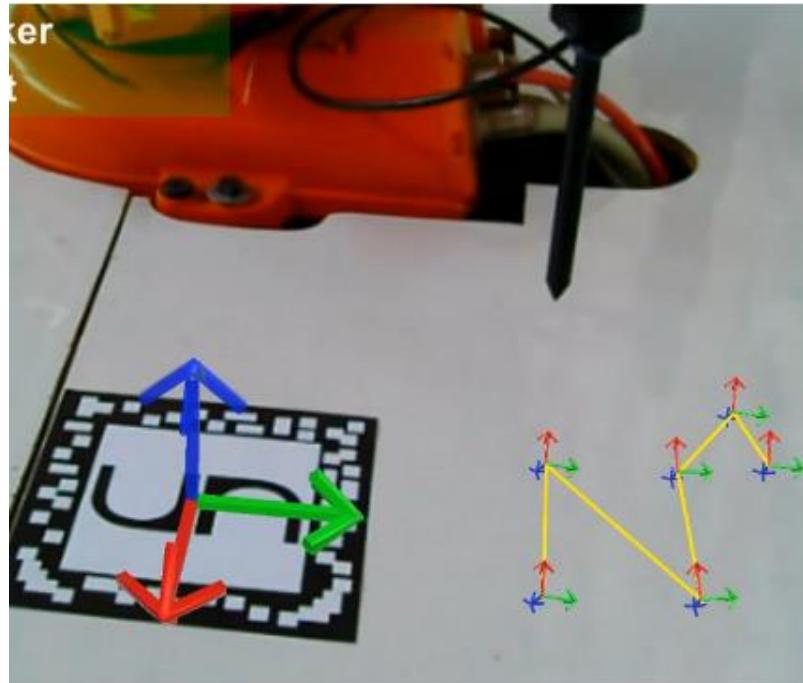
Pruebas y validación

Herramienta para el robot



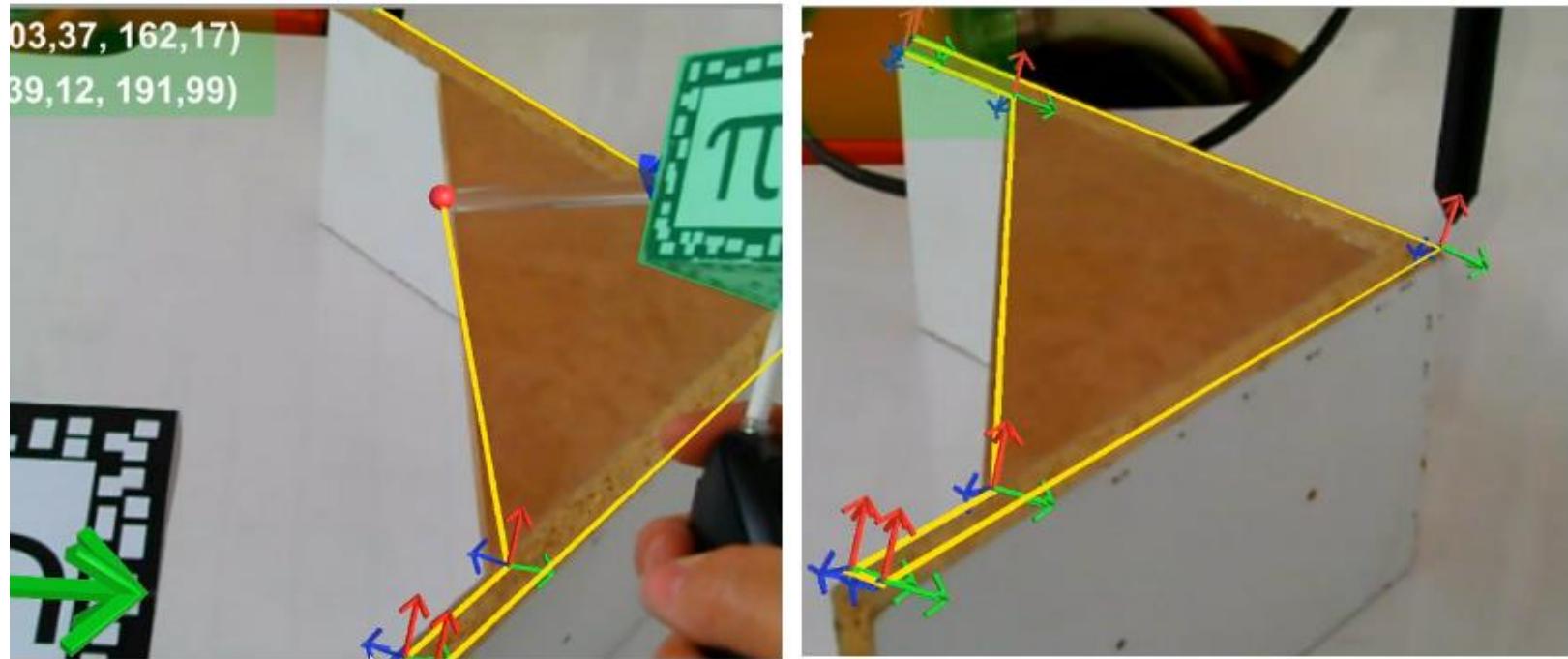
Pruebas y validación

Validación de la posición



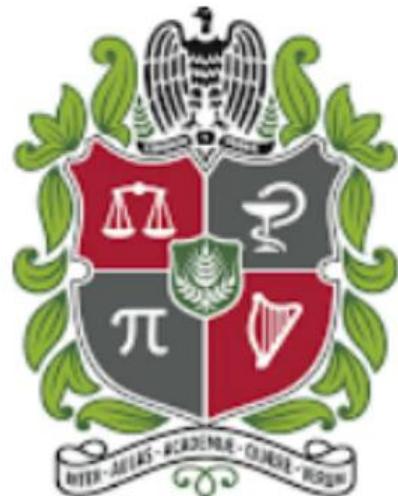
Pruebas y validación

Validación de la posición



Pruebas y validación

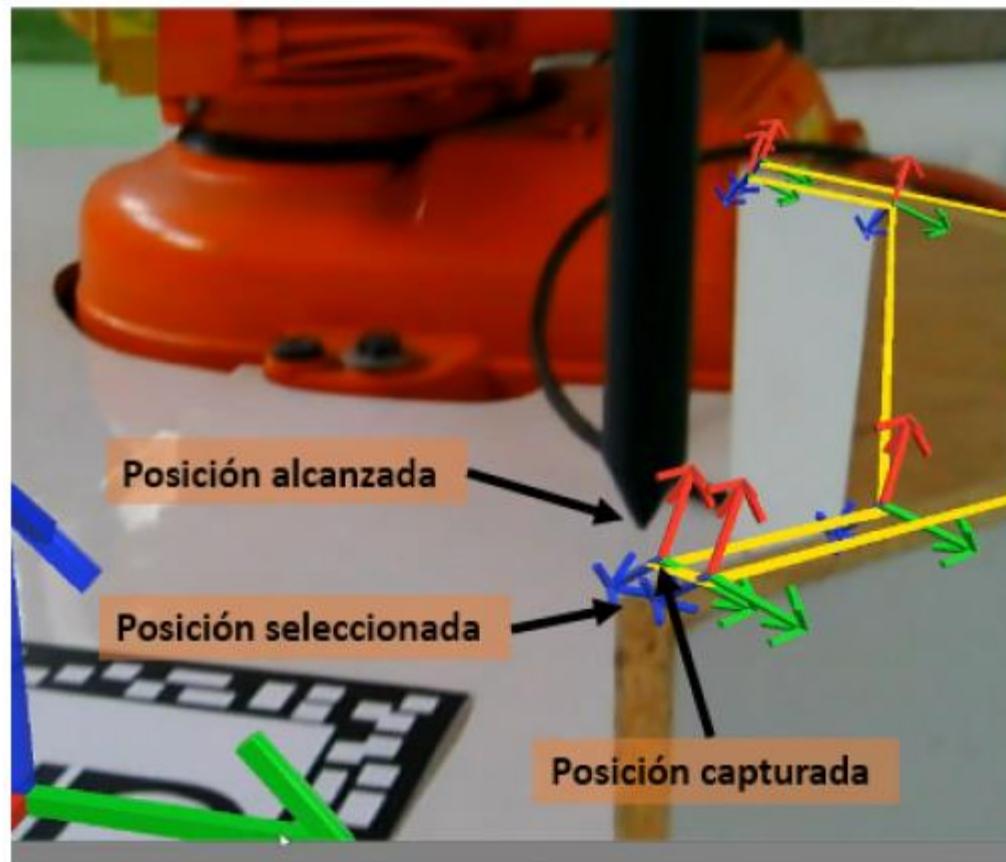
Validación de la posición



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Validación de la posición

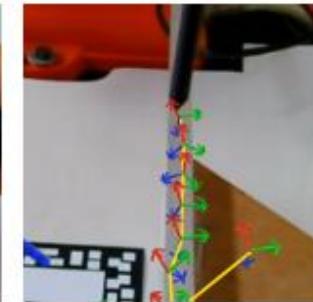
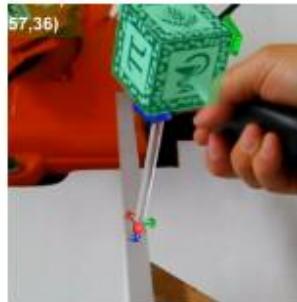
Conclusiones



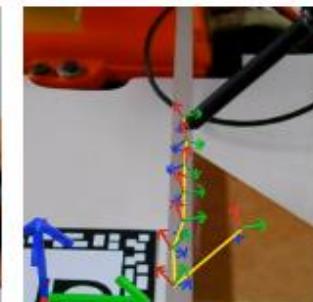
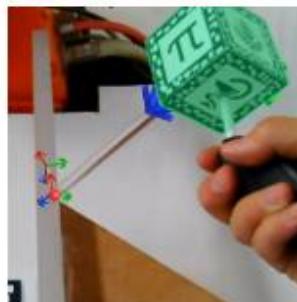
Pruebas y validación

Validación de la orientación

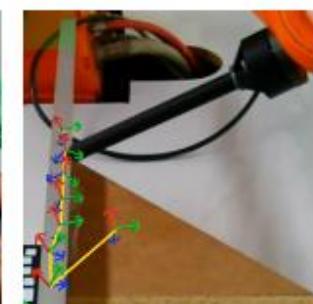
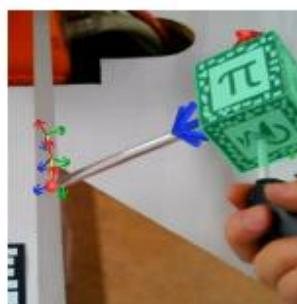
Punto 1



Punto 2



Punto 3



Pruebas y validación

Validación de la orientación



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Validación de la Rotación

Pruebas y validación

Sistema completo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Desarrollo de un ambiente de realidad aumentada para la operación y programación de robots industriales

Sistema completo

Conclusiones

- Se evidencio que los sistemas de programación de robots industriales utilizando Realidad Aumentada, no requieren de personal calificado, reduce tiempos, minimiza el esfuerzo y mejora la conciencia de la situación.
- La interfaz de usuario demostró gran capacidad para capturar en la escena posiciones y orientación con un margen de error bajo.
- El margen de error de la interfaz de Realidad Aumentada, la hace ideal para aplicaciones como: pick and place, pintura, pulido o manipulación de partes.

Conclusiones

- Este margen de error es causado por diferentes factores como:
 - La iluminación y ángulo de enfoque de la cámara
 - La eficiencia de los algoritmos de reconocimiento y seguimiento
 - **La estimación visual y sensibilidad al tacto del usuario.**
 - La velocidad con la que se mueve la cámara y/o el marcador cúbico
 - La calibración del WorkObject con el centro del marcador UN
- Este tipo de sistemas, aun no son recomendables para aplicaciones que requieren gran exactitud, como soldadura, corte o ensamble.
- El sistema demanda concentración del usuario y limita el área de trabajo .

Conclusiones

- Este tipo de interfaces aun están en fase de desarrollo, pero tienen gran potencial en aplicaciones reales y prometen mejorar la forma como se programan robots industriales. Por lo cual es pertinente continuar con investigaciones, que busquen como incorporar la Realidad Aumentada al sector industrial

Trabajos futuros

- ❑ Mejorar la experiencia del usuario y permitir una comunicación más fluida entre la máquina y el ser humano.
 - Diseño más agradable a la vista
 - Ampliar las opciones del menú
 - Simulación de movimiento con un robot virtual
- ❑ Utilizar dispositivos del tipo *Optical See-Through*, como las gafas HoloLens, Magic Leap o Moverio.
- ❑ Incorporar un conjunto de marcadores fijos, en remplazo del marcador UN.

Publicaciones

Designing an Interface for Trajectory Programming in Industrial Robots Using Augmented Reality

Juan C. Gallo and Pedro F. Cárdenas^(✉)

Department of Mechanical and Mechatronic Engineering,
National University of Colombia, Bogotá, Colombia
{jucgallopi,pfcardenash}@unal.edu.co

Abstract. Traditional programming methods of industrial robots, show different disadvantages such as the use of highly qualified personnel and long programming time for the generation of robot trajectories. The development of friendly and intuitive user interfaces that improve the human-robot interface is greatly important; so it allows generating trajectories in a natural way. To achieve this goal, tools such as augmented reality are required to enhance the robot's environment with virtual information in which the user may receive feedback. It is proposed to develop an immersive user interface using augmented reality, that allows programming trajectories for the ABB IRB 140 robot by means of a cubic marker and giving useful feedback to the user throughout the device THC VIVE. The system of augmented reality is developed with Vuforia in Unity3D. and the system of communication in ROS.



Publicaciones

Designing an Interface for Trajectory Programming in Industrial Robots Using Augmented Reality

Juan C. Gallo and Pedro F. Cárdenas^(✉)

Department of Mechanical and Mechatronic Engineering,
National University of Colombia, Bogotá, Colombia
{jucgallopi,pfcardenash}@unal.edu.co

Abstract. Traditional programming methods of industrial robots, show different disadvantages such as the use of highly qualified personnel and long programming time for the generation of robot trajectories. The development of friendly and intuitive user interfaces that improve the human-robot interface is greatly important; so it allows generating trajectories in a natural way. To achieve this goal, tools such as augmented reality are required to enhance the robot's environment with virtual information in which the user may receive feedback. It is proposed to develop an immersive user interface using augmented reality, that allows programming trajectories for the ABB IRB 140 robot by means of a cubic marker and giving useful feedback to the user throughout the device THC VIVE. The system of augmented reality is developed with Vuforia in Unity3D. and the system of communication in ROS.

Nuevo sistema de programación de robots industriales utilizando Realidad Aumentada

Referencias

- Akan, Batu ; Ameri, Afshin ; Cürüklü, Baran ; Asplund, Lars: Intuitive industrial robot programming through incremental multimodal language and augmented reality. En: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation (2011), p. 3934–3939. – ISBN 9781612843865
- Fang, H. C. ; Ong, S. K. ; Nee, A. Y.: A novel augmented reality-based interface for robot path planning. En: International Journal on Interactive Design and Manufacturing 8 (2014), Nr. 1, p. 33–42. – ISSN 19552513
- Gallo, Juan C. ; Cárdenas, Pedro F.: Designing an Interface for Trajectory Programming in Industrial Robots Using Augmented Reality. En: Lecture Notes in Networks and Systems Vol. 112. Springer, 10 2020. – ISSN 23673389, p. 142–148
- Michalos, George ; Karagiannis, Panagiotis ; Makris, Sotiris ; Tokçalar, Önder ; Chryssolouris, George: Augmented Reality (AR) Applications for Supporting Human-robot Interactive Cooperation. En: Procedia CIRP Vol. 41, Elsevier, 1 2016. – ISBN 2212–8271, p. 370–375

Referencias

- Nee, A. Y. ; Ong, S. K.: Virtual and augmented reality applications in manufacturing. En: IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline) Vol. 46, IFAC, 2013. – ISBN 9783902823359, p. 15–26
- Quintero, Camilo P. ;Li, Sarah ;Pan, MatthewK. ;Chan,Wesley P. ;MachielVan Der Loos, H. F. ;Croft, Elizabeth: Robot Programming ThroughAugmentedTrajectories inAugmented Reality. En:IEEE International Conference on IntelligentRobots and Systems(2018), p. 1838–1844. –ISBN 9781538680940
- Sanna, A ; Manuri, F ; Lamberti, F ; Member, Senior ; Paravati, G ; Pezzolla, P: Using Handheld Devices to Support Augmented Reality-based Maintenance and Assembly Tasks. En: IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) Using (2015), p. 178–179. ISBN 9781479975433
- Sarai, Yasumitsu ; Maeda, Yusuke: Robot programming for manipulators through volume sweeping and augmented reality. En: IEEE International Conference on Automation Science and Engineering 2017-Augus (2018), p. 302–307. – ISBN 9781509067800

Gracias