

METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN – ROBOT UR3

Documento de Cierre del Caso de Consultorio C15

Cliente: Carlos Felipe Torres

Laboratorio AIA

Autor: Gianluca Nuñez Arcila

Universidad de los Andes – Ing. Mecánica

Contenido

1.	Componentes del Sistema de Calibración	3
1.1.	Soporte estructural	3
1.2.	Ejes X y Y	4
1.3.	Conexiones	5
2.	Procedimiento de Montaje.....	5
2.1.	Fijación inicial de las conexiones a los ejes	5
2.2.	Instalación de los ejes sobre la base del robot.....	6
2.3.	Montaje completo	7
3.	Metodología de Calibración del Plano de Trabajo	7
3.1.	Preparación: movimiento manual del TCP	8
3.2.	Creación del plano en PolyScope	9
3.3.	Uso del plano existente y recalibración	12
3.4.	Importancia del plano calibrado	12
4.	Recomendaciones	13

1. Motivación

El sistema de calibración descrito en este documento se diseñó para disponer de un procedimiento rápido y repetible que permita reconstruir el plano de trabajo del UR3 cada vez que se desarma la celda, se mueve la base del robot o se cambia el experimento en el Laboratorio AIA. La estructura mecánica impresa en 3D crea un punto de referencia físico estable que el robot puede volver a tocar siempre, reduciendo el tiempo de puesta a punto y minimizando errores acumulados en las rutinas de movimiento.

Este manual está pensado para usuarios sin experiencia previa en programación o calibración de robots colaborativos. El único requisito es contar con la inducción básica de seguridad del laboratorio. A partir de ahí, el documento explica paso a paso qué botones usar (por ejemplo, Freedrive), cómo cargar el programa y cómo ejecutar la rutina de calibración, de modo que asistentes de investigación, estudiantes y personal nuevo puedan dejar el robot listo para trabajar siguiendo únicamente las instrucciones aquí descritas.

1. Componentes del Sistema de Calibración

El sistema de calibración desarrollado se compone de tres elementos principales: el soporte, los ejes X–Y, y las conexiones. Estas piezas se ensamblan sobre la base del robot para crear una estructura rígida que define un punto de referencia mecánico utilizado en la etapa de calibración del marco coordenado.

1.1. Soporte estructural

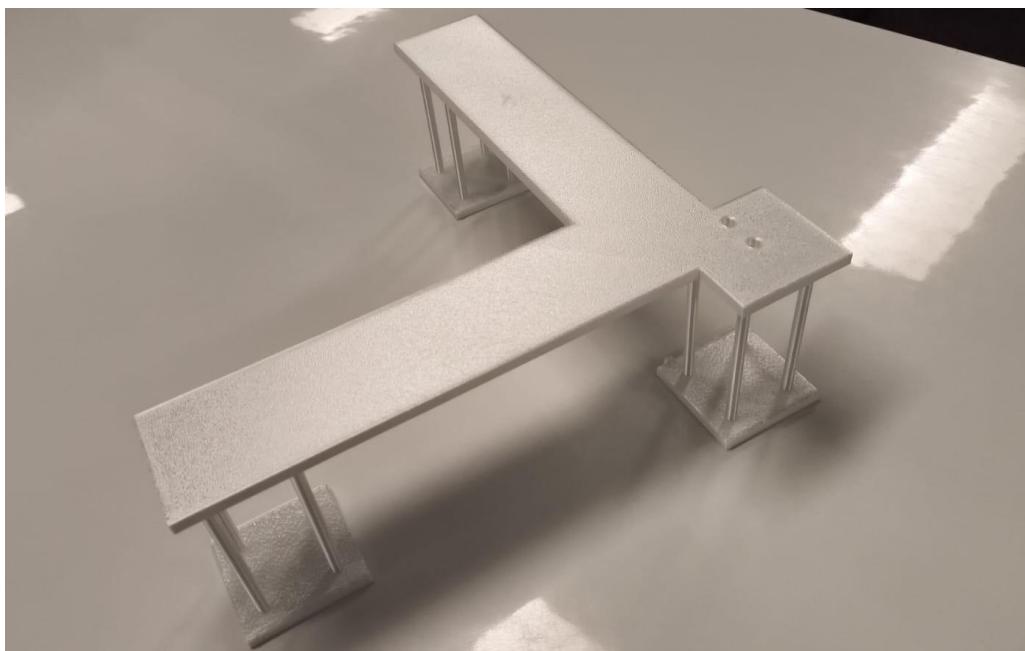


Figura 1. Soporte estructural.

El soporte (Figura 1) cumple dos funciones fundamentales:

- Servir como base física de los ejes X y Y, que se fijan mediante dos tornillos alojados en los orificios centrales.
- Alinear el TCP del robot, ya que el soporte también actúa como plataforma para ubicar la punta rígida del robot (TCP sin gripper), garantizando que el punto de contacto sea reproducible en cada movimiento.

Su diseño elevado evita interferencias con la mesa y proporciona una referencia estable durante todo el procedimiento.

1.2. Ejes X y Y



Figura 2. Eje X (abajo) y Eje Y (arriba).

Los ejes impresos (Figura 2) son dos perfiles longitudinales idénticos cuya función es definir un ángulo recto entre sí. Cada eje tiene un pequeño saliente (señalados en círculos en la Figura 2) en uno de los extremos que encaja directamente en la ranura de la cruz metálica de la base del robot. Esto permite garantizar siempre la misma orientación al instalarlos y definir una dirección física verificable para los ejes X y Y del sistema.

Cuando ambos ejes están montados simultáneamente, la intersección entre ellos genera un punto fijo que el robot puede volver a usar como punto de referencia para realizar la calibración.

1.3. Conexiones



Figura 3. Conexiones eje-base.

Las conexiones (Figura 3) unen mecánicamente los ejes con la base del robot. Se atornillan tanto a los ejes como a la cruz del robot, y su objetivo es:

- Asegurar la rigidez del conjunto evitando cualquier vibración o rotación indeseada.
- Definir un ángulo recto entre los dos ejes que permita generar los puntos de referencia para la generación de planos explicada en el inciso 3 de este manual.

2. Procedimiento de Montaje

2.1. Fijación inicial de las conexiones a los ejes



Figura 4. Montaje conexiones-ejes.

Las conexiones se atornillan a los extremos de cada eje (Figura 4). Esta unión previa simplifica el montaje posterior sobre la base del robot y garantiza que cada eje quede correctamente orientado.

2.2. Instalación de los ejes sobre la base del robot



Figura 5. Montaje semicompleto (encaje de los ejes a la base).

Una vez armado el subconjunto eje–conexión, las ranuras salientes de cada eje se encaja en la cruz metálica de la base del robot mediante el saliente impreso (Figura 5).

Luego se posicionan ambos ejes sobre el soporte central, de modo que la estructura quede alineada y apoyada en los cuatro puntos de soporte.

Este paso define físicamente:

- La dirección del eje X,
- La dirección del eje Y,
- Y la ubicación del punto fijo que posteriormente se usará para calibración.

2.3. Montaje completo

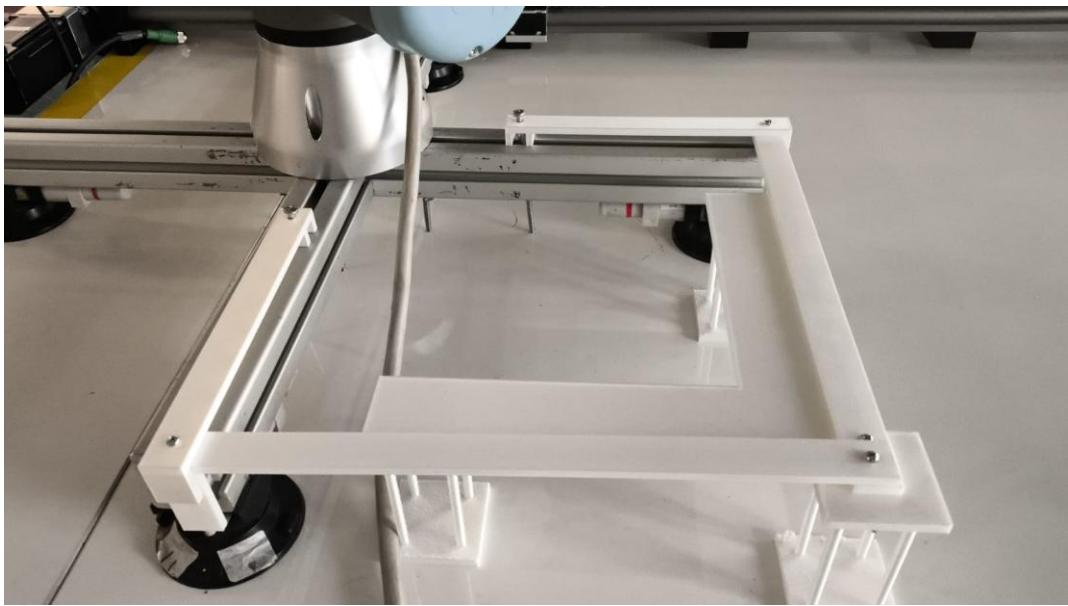


Figura 6. Montaje de calibración completo.

Finalmente (Figura 6), se realiza:

1. El atornillado de los ejes al soporte, fijándolos en altura.
2. El aseguramiento de las conexiones a la base del robot, bloqueando la estructura y eliminando cualquier holgura.

Al terminar el ensamblaje, el marco debería estar estable y la geometría del sistema de referencia armado debería estar controlada, permitiendo que el TCP del robot ubique siempre el mismo punto físico. Este punto repetible es esencial para la metodología de calibración del plano coordinado, puesto que permite reconstruir consistentemente la orientación del sistema incluso después de movimientos de traslación y/o rotación arbitrarios del robot.

3. Metodología de Calibración del Plano de Trabajo

La calibración del plano de referencia es un paso esencial para garantizar que el robot interprete correctamente la geometría creada por los ejes impresos y el soporte. Esta calibración se realiza directamente en PolyScope, utilizando la herramienta de creación de features, y permite definir un sistema de coordenadas consistente y repetible basado en la estructura física que se instala en la base del robot.

3.1. Preparación: movimiento manual del TCP

Antes de iniciar el proceso, es necesario posicionar el TCP sobre los puntos indicados por las piezas impresas. Para mover el robot de manera segura y sin utilizar programación, PolyScope ofrece dos mecanismos:

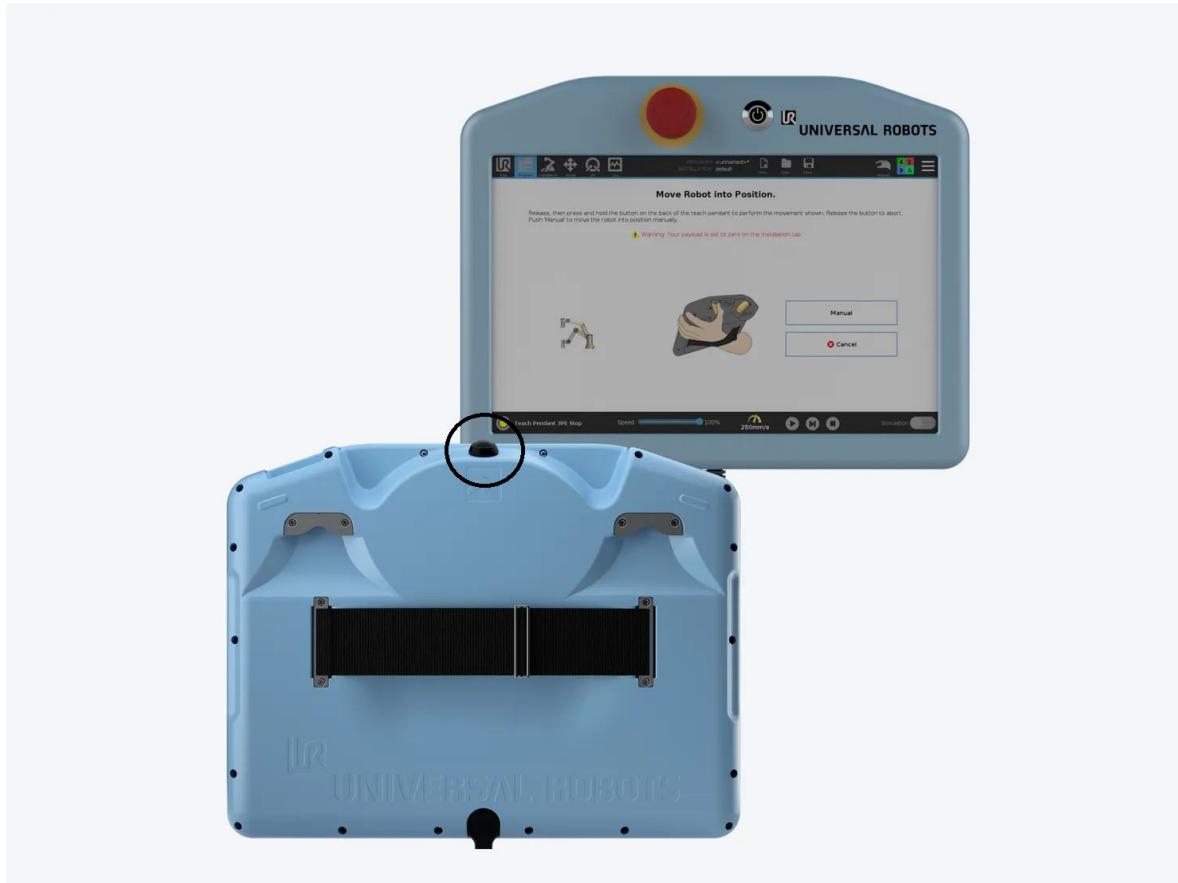


Figura 7. Botón trasero del Polyscope.

- Botón trasero del panel de control (señalado en la figura 7): al presionarlo, el robot entra en modo de flotación y puede ser guiado manualmente.



Figura 8. Botón “Freedrive” del Polyscope.

- Botón “Freedrive” (señalado en la figura 8): disponible en la interfaz, sección “Move”, cumple la misma función, permitiendo desplazar el TCP con la mano.

Estos modos se emplean para llevar el TCP exactamente a los puntos físicos de referencia que definen el plano.

3.2. Creación del plano en PolyScope

La calibración se realiza desde la sección “Installation”, en la parte de “Features”; si es la primera vez que creamos el plano, o por alguna razón fue eliminado o debe ser creado nuevamente, seleccionamos la opción de “Plane”. Al crear un plano, el robot automáticamente genera un plano coordenado. Si el plano ya está creado y el robot fue movido, seleccionamos la opción “Teach this plane” y procedemos con la recalibración.

El asistente de PolyScope cuenta con cinco pasos secuenciales para definir un plano cartesiano:

Paso 1. Ejemplo / Introducción

PolyScope muestra un esquema conceptual del plano a crear, explicando que el usuario deberá seleccionar tres puntos no colineales: el origen, dirección del eje X+ y dirección del eje Y+.

Estos tres puntos determinan completamente el plano y su sistema coordenado asociado.

Paso 2. Definir origen del plano



Figura 8: Selección del punto origen (0,0,0) con el TCP.

El origen del plano corresponde al punto fijo generado por la intersección física de los ejes X–Y en la estructura impresa. Como se ve en la figura 8, El operador posiciona el TCP sobre esa esquina con precisión, y selecciona “Set Position”. Este punto define el (0,0,0) del *feature plane*.

Paso 3. Definir dirección X positiva

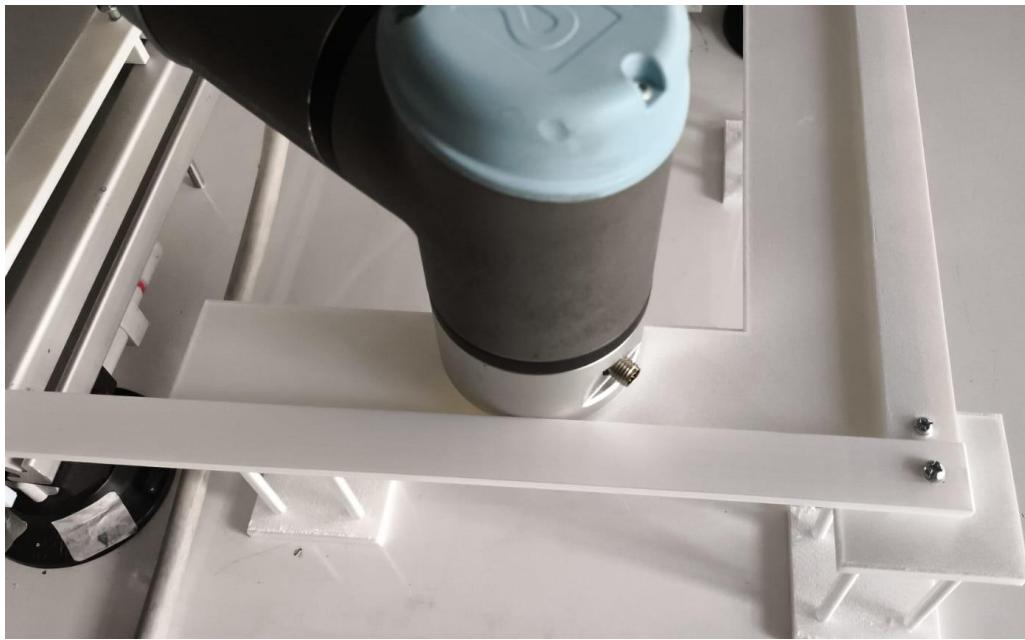


Figura 9. Selección del eje X+ con el TCP.

A continuación, el robot debe desplazarse manualmente hacia el extremo positivo del eje X, siguiendo estrictamente la dirección física del eje impreso. El círculo del TCP debe ser tangente a la línea del eje, como muestra la figura 8. Al seleccionar “Set Position”, PolyScope registra un segundo punto y, con él, la dirección del eje X del plano.

Paso 4. Definir dirección Y positiva



Figura 9: Selección del eje Y+ con el TCP.

Del mismo modo, el robot se mueve hacia la punta del eje Y.

Este tercer punto establece la dirección positiva del eje Y y completa la definición geométrica del plano.

Con los tres puntos, PolyScope calcula automáticamente:

- Normal del plano
- Ejes ortogonales X–Y–Z
- Transformación homogénea del feature respecto al base frame

Paso 5. Vista previa del plano

El software muestra el plano recién creado junto con su orientación y los tres ejes coloreados.

3.3. Uso del plano existente y recalibración

El plano creado se guarda bajo el nombre de “Plane_C15”

Si por algún motivo el plano es eliminado o se requiere crearlo nuevamente, se repite el procedimiento anterior. En cambio, si el plano ya existe, pero se desea recalibrarlo después de haber movido el robot, basta con seleccionar la opción “Teach this plane” y seguir el procedimiento anterior.

Este procedimiento es mucho más rápido y evita crear un feature desde cero, además de que reemplaza el sistema coordenado usado en los códigos de movimiento.

3.4. Importancia del plano calibrado

La misión de este plano es servir como referencia geométrica invariable entre el robot, la estructura física de calibración y los algoritmos que reconstruyen el sistema coordinado operativo.

Una vez calibrado, el robot puede:

- Recuperar el mismo plano, aunque se haya desplazado,
- Usarlo como base para movimientos cartesianos,
- Alinear el TCP con la estructura,

Es, en esencia, el puente entre la geometría física impresa y la geometría matemática usada en los programas de control.

4. Recomendaciones

- Reducir la velocidad del robot antes de iniciar el proceso. Aunque el robot se mueve de manera manual en modo *Freedrive*, PolyScope permite configurar una velocidad general reducida. Esto hace que los movimientos sean más suaves y controlados, disminuyendo la probabilidad de sobresaltos, golpes o desalineaciones sobre los puntos de referencia.
- Realizar la calibración entre dos personas. Aunque es posible ejecutar el proceso individualmente, resulta significativamente más seguro y preciso si una persona mantiene presionado el botón de *Freedrive* (el cual debe sostenerse continuamente), mientras la otra mueve el robot y posiciona el TCP sobre los puntos de referencia. Esto reduce el riesgo de movimientos bruscos y facilita la alineación fina sobre las superficies impresas.
- Estabilizar la estructura impresa durante la calibración. La geometría del conjunto (ejes, soporte y conexiones) no queda completamente rígida debido a errores propagados y por el encaje y los tornillos. La holgura natural entre tornillo y cavidad genera un pequeño "juego" que puede amplificarse cuando el TCP hace contacto. Por ello, es recomendable que una persona mantenga la estructura firmemente apoyada y estable mientras la otra posiciona el robot, evitando desplazamientos milimétricos que afecten los puntos medidos.
- Verificar visualmente la orientación final del plano. Antes de aceptar la previa del plano en PolyScope, conviene validar que los ejes X y Y coincidan con la geometría física instalada. Un error al capturar uno de los puntos puede generar un plano rotado o invertido, afectando todos los movimientos posteriores.