



Proyectos

## “INTERBOT”

DESARROLLO DE UNA INTERFAZ HMI PARA LA PROGRAMACIÓN DE ROBOTS MEDIANTE COMANDOS VERBALES Y VISIÓN ARTIFICIAL

Resumen de resultados del proyecto

Número de proyecto: 22100060

Expediente: IMDEEA/2021/17

Duración: Del 01/07/2021 al 31/07/2022

Coordinado en AIDIMME por: SÁNCHEZ ASINS, JOSÉ LUIS

Línea de I+D: INDUSTRIA 4.0



GENERALITAT  
VALENCIANA

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Cofinanciado por  
la Unión Europea

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

# ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b><i>Introducción</i></b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><i>Integración del sistema de reconocimiento de voz</i></b> .....	<b>4</b>
2.1	Sistemas de reconocimiento de voz .....	4
2.2	Revisión de sistemas de Visión Artificial para guiado de Robots.....	10
2.3	Selección de acciones de programación que serán verbalizadas .....	15
2.4	Desarrollo e integración del sistema de reconocimiento por voz.....	18
2.5	Integración de los sistemas de visión .....	24
2.6	Referencias .....	25
<b>3</b>	<b><i>Desarrollo del sistema de programación</i></b> .....	<b>26</b>
3.1	Validación de los comandos de voz a emplear .....	26
3.2	Sistema de generación de secuencias del programa.....	31
3.3	Identificación de riesgos en la utilización del sistema .....	35
3.4	Interfaz gráfico para el proceso de programación .....	38
<b>4</b>	<b><i>Desarrollo del piloto demostrativo de las tecnologías desarrolladas</i></b> .....	<b>44</b>
4.1	Organización y diseño de las pruebas piloto .....	44
4.2	Estudio de un proceso industrial de pick & place y réplica en laboratorio.....	46
4.3	Sistema de validación en laboratorio .....	49
4.4	El problema de la cinemática inversa .....	56
4.5	Sistema de validación en un entorno industrial .....	60

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

## 1 Introducción.

Las tendencias hacia la fabricación de una amplia variedad de productos en tamaños de lote cada vez menores (personalización de producto) implica la necesidad de reajustar con mucha frecuencia los medios productivos a cada tipo de producto. Aunque los robots son equipos muy flexibles, su eficiencia disminuye si se requiere reprogramarlos continuamente para adaptarse a las especificaciones de cada nuevo producto.

En términos generales, la programación de robots se ha simplificado mucho en los últimos años. Los fabricantes han desarrollado herramientas gráficas y métodos gestuales que facilitan la generación de programas en cualquier tipo de robot. Obviamente, cada programa es válido en un entorno concreto y para una tarea específica, por lo que se requiere reprogramación si cambia alguna de las dos circunstancias.

El desarrollo de interfaces que permitan la rápida reprogramación de un robot, y en la medida de lo posible de forma casi intuitiva por personal no especializado, es una opción que se está abordando desde diversas perspectivas. Este tipo de interfaz es especialmente importante en entornos donde la presencia humana es importante, tales como las industrias manufactureras.

Por ello, el objetivo de este proyectos era desarrollar una interfaz de programación de robots colaborativos, basada en el reconocimiento y la ejecución de comandos verbales por parte del robot en un ambiente industrial, a partir de los cuales se pueda generar una secuencia de programación de movimientos y su grabación en el controlador. El sistema desarrollado integra los elementos de seguridad suficientes para que no exista riesgo de colisiones indebidas o accidentes inesperados.

Como caso de uso se ha aplicado a un proceso de pick&place. Este caso de uso es significativo en diversas industrias de diferentes sectores industriales, incluyendo los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

## 2 Integración del sistema de reconocimiento de voz

El objetivo de este paquete de trabajo era desarrollar el sistema de reconocimiento de voz, así como definir la forma de integrar éste en el controlador del robot, de forma que se pueda convertir la voz en instrucciones comprensibles y ejecutables por el robot. En este paquete de trabajo se ha analizado la idoneidad de completar el sistema con visión artificial y su forma de integrarla con el sistema de voz.

### 2.1 Sistemas de reconocimiento de voz

Los sistemas de reconocimiento de voz más extendidos siguen dos aproximaciones diferentes:

- Técnicas estadísticas tradicionales. La más tradicional está basada en la interpretación fonética del sonido. Para ello, se necesitan diferentes modelos según se trae de la pronunciación, de la acústica y del modelo de lenguaje. Este enfoque además utiliza una aproximación basada en la técnica estadística de las cadenas ocultas de Markov así como modelos del lenguaje basado en los N-Gram.
- Técnicas de machine learning. El enfoque más moderno utiliza técnicas de machine learning (Inteligencia Artificial) en el que se utilizan redes neuronales para el aprendizaje primero y posteriormente para la interpretación de la voz humana.

En la siguiente tabla podemos observar los principales kits de desarrollo open source basados en técnicas estadísticas.

Toolkit	Programming languages	Development activity	Tutorials and examples	Community	Trained models
CMU Sphinx	Java, C, Python, others	+++	+++	+++	English plus 10 other languages
Kaldi	C++, Python	+++	++	+++	Subset of English
HTK	C, Python	++	+++	++	None
Julius	C, Python	++	++	+	Japanese
ISIP	C++	++	++	+	Digits only

Comparativa de kits de desarrollo open source.

Fuente: [www.svds.com](http://www.svds.com) [1]

#### CMU Sphinx

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

Se trata de un sistema de reconocimiento de voz y de entrenamiento de modelos acústicos desarrollados por la Carnegie Mellon University. El sistema utiliza modelos ocultos de Markov y modelos estadísticos de lenguaje N-Gramas. Está accesible en la dirección <https://cmusphinx.github.io/>.



Frontend de la web del sistema cmusphinx

Fuente: <https://cmusphinx.github.io/> [2]

El sistema permite el reconocimiento continuo de voz, y el reconocimiento de vocabulario independiente del hablante.

Existen varias versiones desarrolladas: Sphinx 2, Sphinx 3 y Sphinx 4 que mejoran en rendimiento del desarrollo original.

Un sistema Sphinx necesita de 3 componentes para su funcionamiento [3]:

- Modelo del lenguaje que nos indica las **secuencias de palabras** posibles en un idioma dado.
- Modelo acústico para el **dialecto concreto** que se pretende reconocer.
- Diccionario fonético con la **pronunciación de cada palabra a reconocer**.

La descripción del sistema está disponible para su consulta en el repositorio de la Universidad Carnegie Mellon [4].

### Sphinxbase, Pocketsphinx.

Se trata de un sistema de reconocimiento de voz basado en modelos acústicos y en diccionarios de pronunciación de palabras dependientes del idioma en el que queremos realizar el reconocimiento [5]



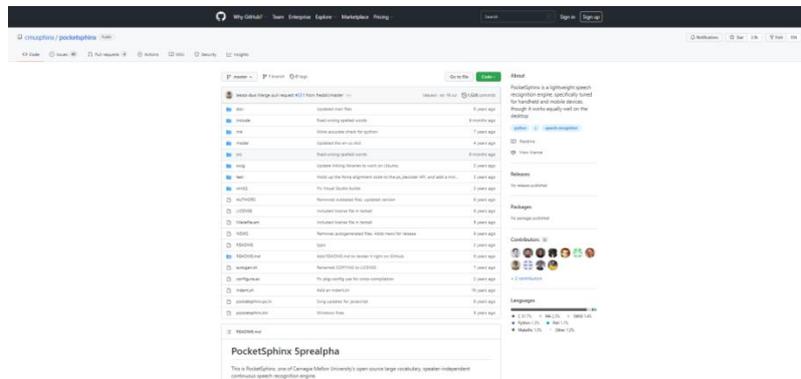
**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Página de Github de cmusphinx.

Fuente: [github.com/cmusphinx/pocketsphinx](https://github.com/cmusphinx/pocketsphinx) [5]

El modelo acústico está basado en una variante del modelo estadístico de Markov. Concretamente la variante se denomina modelo oculto de Markov.

Esta variante de Sphinx puede usarse en sistemas dedicados basado en la plataforma de CPU ARM, además usa aritmética en coma fija y un modelo estadístico de tipo GMM con el fin de acelerar el reconocimiento de voz.

Los sistemas basados en Sphinx tienen como principal inconveniente la detección de la frecuencia fundamental, el contenido espectral, el acento, pronunciación o el modelo de lenguaje. Lo que dificulta su empleo en dialectos distintos de un mismo idioma por lo que se necesita desarrollar un modelo acústico adaptado al dialecto concreto a reconocer [6].

### SpeechRecognition.

Se trata de una librería informática que proporciona una API unificada con la que poder interactuar con distintos motores de reconocimiento tanto online como offline [7].

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

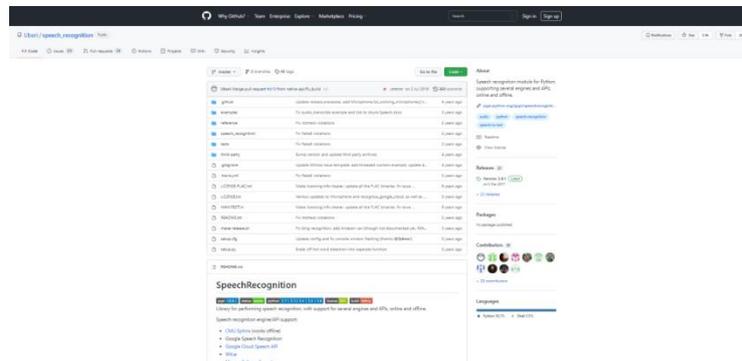


Figura 1: Página de Github de speech recognition.

Fuente: [https://github.com/Uberi/speech\\_recognition#readme](https://github.com/Uberi/speech_recognition#readme) [8]

El principal inconveniente de esta librería para su uso en sistemas dedicados es que los motores online requieren de:

- Conectividad a internet para su funcionamiento, lo que no siempre es conveniente
- Obtención y registro en los proveedores cloud para su utilización sin límite en el número de consultas o frecuencia de las mismas.

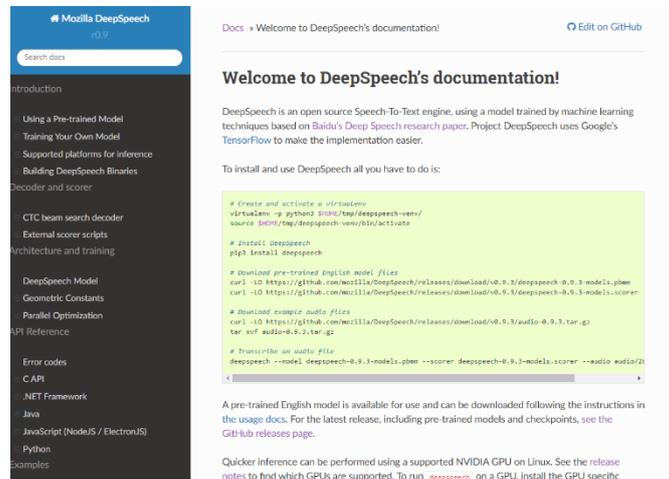
Los inconvenientes de los motores offline son:

- Alta dependencia del modelo acústico respecto del dialecto del idioma a reconocer por los motores offline. Cuando se utilizan motores de dialectos diferentes o idiomas distintos se obtiene una baja por no decir nula efectividad.
- El desarrollo del motor de reconocimiento Snowboy ha sido abandonado por su fabricante dejando de estar operativo con fecha 31 de diciembre de 2020 tal y como publican en el repositorio del API de dicho motor [10].

### DeepSpeech

Se trata de un desarrollo de la fundación Mozilla. Este sistema de reconocimiento de voz utiliza técnicas de Machine Learning. Para ello emplea un modelo de aprendizaje generado previamente para el motor de machine learning TensorFlow de Google.

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Página de Mozilla DeepSpeech

Fuente: <https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/?badge=latest#> [11]

La documentación del proyecto se puede encontrar disponible en la web: <https://github.com/mozilla/DeepSpeech> [12].

El modelo de red neuronal utilizado por DeepSpeech para el reconocimiento de voz sigue el esquema que se muestra en la siguiente figura.

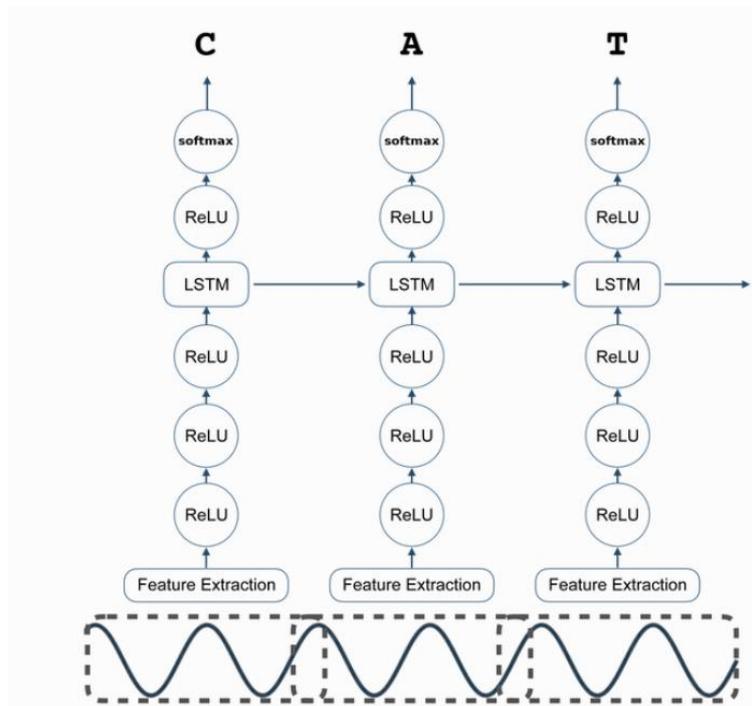
**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Figura 2: Esquema del modelo de red neuronal utilizado.

 Fuente: [https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/\\_images/rnn\\_fig-624x598.png](https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/_images/rnn_fig-624x598.png) [13]

El sistema DeepSpeech funciona en tiempo real, pudiendo trabajar en una variedad de plataformas hardware, desde Raspberry hasta servidores de alto rendimiento con GPU.

El modelo de aprendizaje que usa el motor se genera a partir de miles de horas de grabación de personas de distinto sexo, edad y acento por lo que permite el reconocimiento de audio de una forma más universal para un idioma dado.

Otra ventaja adicional es que el modelo de aprendizaje se almacena localmente en el dispositivo lo que evita disponer de una conexión a internet de forma permanente para llevar a cabo el reconocimiento de voz en sistemas Cloud ya disponibles.

Según los estudios llevados a cabo por la Universidad de Cornell [14], este sistema de redes neuronales tiene una tasa de aciertos de hasta el 94%. Este sistema también funciona mejor que otros sistemas ampliamente difundidos, incluso en ambientes ruidosos.

### Conclusiones

Se ha seleccionado el sistema **DeepSpeech** por los siguientes motivos :

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

- Aunque los modelos existentes ya entrenados son muy limitados debido a la enorme cantidad de horas de grabación de personas de distinto sexo, edad y acento necesarios con el que enseñar a la red neuronal y de la potencia de cálculo necesaria para procesar todas las grabaciones
- Existe disponible un modelo entrenado para el idioma español que funciona independientemente del dialecto utilizado. La tasa de aciertos de esta tecnología llega a alcanzar el 94%.
- Con este sistema podemos implantar tanto un sistema de traducción de voz a texto libre, como de reconocimiento de palabras o comandos determinados.
- El sistema podrá almacenar en local toda la información necesaria para su funcionamiento con lo que no será necesario el disponer de conexión a internet de forma continua ni de ningún registro en proveedores Cloud.
- Por último, este motor facilita la elección de la plataforma hardware para el desarrollo hardware ya que al estar implementado en Python permitirá su empleo desde Raspberry 4 hasta servidores con una gran potencia de cálculo.

**2.2 Revisión de sistemas de Visión Artificial para guiado de Robots**

Integrar en un robot colaborativo el guiado por visión artificial, permite mejorar la eficiencia de la producción y la reducción de costes en los procesos industriales.

Existen múltiples opciones de equipamiento de visión artificial para los distintos sectores industriales con características variadas. Sin embargo, no todos los sistemas del mercado están preparados y/u optimizados para el guiado de robots.

De las opciones que nos permiten realizar el guiado de un robot podemos encontrarnos distintos sistemas algunos de los cuales han sido probados y validados y se detallan a continuación.

***Sistema de Visión Keyence Serie CV-X.***

Este sistema de visión está formado por un controlador (CV-X420), una cámara (CM-200) y una lente (CA-LH8). Este equipo representa una forma sencilla de resolver aplicaciones en las que se requiere un guiado de robot fácil y rápido.

**GENERALITAT  
VALENCIANA****IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Cámara y controlador Keyence.

Fuente: <https://www.keyence.com/> [16]

Posee compatibilidad con todas las marcas de robots más importantes del mercado, además de tener una estructura básica de programa robot para emplearlo.

El software de interfaz gráfica que contiene, lo hace apto para usuarios que no son expertos en programación de visión. Dado que ofrece múltiples herramientas para el desarrollo de aplicaciones de guiado de robot tanto con la cámara instalada en el brazo, como instalada externamente, destacando las herramientas de Recoger (Pick), Colocar (Place) y Posicionar.



Captura del software Keyence (i).

Fuente: <https://www.keyence.com/> [16]



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

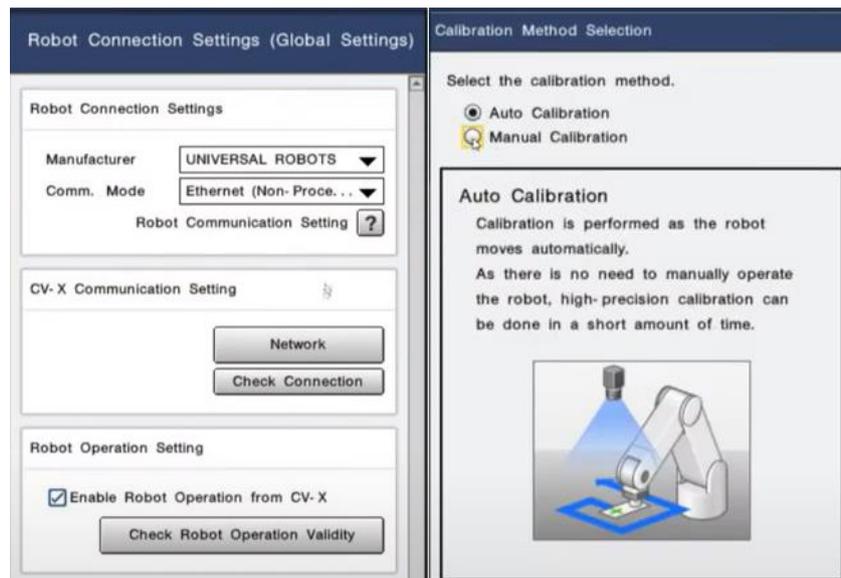
**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Añadir que dicho software posee un menú de configuración con el que poder realizar la conexión con el robot (vía Ethernet) y la calibración entre en equipo de visión y el robot de manera automática, facilitando la tarea en casos de usuarios no expertos.



Captura del software Keyence (ii).

Fuente: <https://www.keyence.com/> [16]

**Sistema OnRobot Eyes**

El sistema OnRobot Eyes consta de una cámara integrada en un soporte diseñado para la brida de herramienta del cabezal del robot de Universal Robot. El soporte consta de varias posiciones de instalación en el cabezal del robot así como posibilidad de giro de la cámara en ángulos determinados.

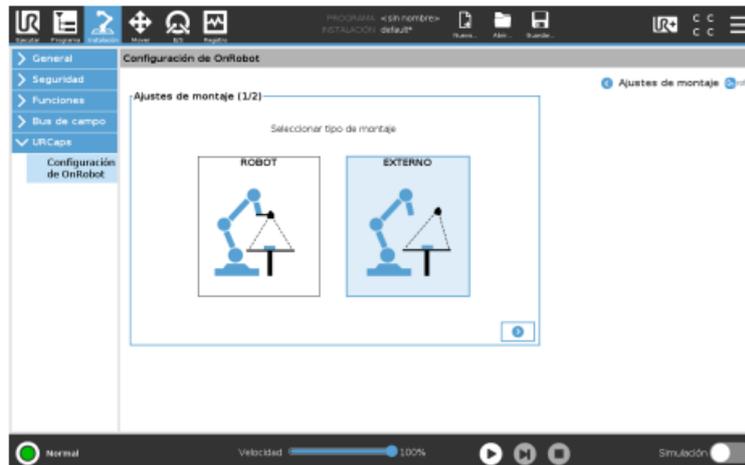


Cámara, controlador e iluminación sistema Onrobot.

Fuente: <https://www.onrobot.com/> [18]

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

Aunque la cámara viene instalada en un soporte para el cabezal, esta puede instalarse externamente, lo que nos permite aplicaciones con la cámara fija o embarcada.



Selección del modo embarcado en el robot o externo.

Fuente: <https://www.onrobot.com/> [18]

Asimismo, el sistema dispone de un sistema de iluminación led propio en el que se puede controlar la intensidad de la iluminación a través de la configuración del equipo para una aplicación concreta. No obstante, este equipamiento es opcional pudiendo emplearse iluminación de otro tipo.

Ambos equipamientos (cámara e Iluminación), se conectan a una unidad de control o compute box, desde donde reciben la alimentación y se procesan los datos.

A diferencia que otros equipos que requieren de diversos componentes (cámara y lente) este equipo ya posee ambos en su estructura. Hay que destacar que esta solución ofrece una visión 2.5D (no puede considerarse 3D) lo que proporciona percepción de profundidad muy útil en aplicaciones en las que se trabaje con objetos de alturas variadas.

El sistema software está basado en una Urcap para robots de Universal Robot, lo que permite realizar una programación de forma ágil e intuitiva, y asimismo realizar la calibración del equipo, sin necesidad de contar para ello con operarios con formación técnica específica.

### Conclusiones

Analizados los sistemas de visión artificial expuestos, conociendo las funcionalidades que aportan cada uno de ellos, y atendiendo a los requerimientos del proyecto Interbot se concluyen los siguientes puntos.



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

- El equipo debe permitir la flexibilidad del ecosistema visión-robot.
- Es necesario que el sistema permita una rápida y fácil integración sin necesidad de conocimientos específicos.
- Debe aportar soluciones para la calibración visión-robot.
- Ya que el objetivo del proyecto es la programación de robots, el poseer una aplicación integrada en el sistema del robot permitirá mejor combinación de los sistemas de visión artificial e interfaz HMI.

Por estos motivos, de los sistemas de visión analizados en el preámbulo del proyecto, resulta de mayor interés para el mismo, el **sistema de visión desarrollado por la marca OnRobot**.



Cámara sistema OnRobot

Fuente: <https://onrobot.com> [18]

Este equipo permite, tal y como se menciona en párrafos anteriores, la instalación flexible del mismo bien externamente o integrado en el robot. Además posee una interfaz ágil para usuarios no expertos y un sistema de calibración y comunicaciones automatizado.

También integra un sistema de iluminación propio, lo que permite reducir el equipamiento necesario para una aplicación en la que se requiera.

Como valor añadido de este equipamiento destacar la visión 2.5D que presenta, pudiendo emplear el valor de profundidad para aplicaciones en las que sea de utilidad.

En cuanto a potenciales retos a superar, hay que tener en cuenta que en caso de querer cambiar la aplicación de destino, esta cámara consta de un campo de visión y focal concreto, a diferencia que en el caso de Keyence que permite con la misma cámara cambiar la lente para obtener distintos valores. Sin embargo, la aplicación para la que se va a desarrollar es la manipulación de piezas en una cinta transportadora, por lo que no se tienen previsto cambio de aplicaciones.

Además, debe de poder utilizarse la URCap del sistema dentro de la URCap a desarrollar para manejar la comunicación con el sistema de reconocimiento por voz. Este es un aspecto a trabajar durante el desarrollo del paquete de trabajo PT5 para integrar el sistema de

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

programación por comandos de voz y el sistema de reconocimiento de imágenes en un mismo software de programación del robot.

### 2.3 Selección de acciones de programación que serán verbalizadas.

La programación tradicional de un proceso de Pick&Place requiere de gran cantidad de acciones sobre los menús de programación.

Parte de estas acciones son de preparación previa del programa, donde se definen aspectos como el plano de trabajo, la herramienta, la pieza, etc. No se trata, en definitiva, de acciones para programar la trayectoria del robot.

El alcance del proyecto queda acotado a la programación de la trayectoria de un robot para ejecutar la operación de Pick&Place, y por tanto acciones de programación asociadas que serán verbalizadas serán las que finalmente permitan grabar movimientos de aproximación, movimientos rectos, agarre y dejada de la pieza, tal y como se muestra en la imagen.



Movimientos y acciones a programar por voz

Fuente: Elaboración Propia

Además de dichos comandos, se estima necesario incorporar un comando de activación del sistema de reconocimiento de voz, y otro de finalización del mismo.

También se considera necesario incluir un comando que introduzca una espera de tiempo entre dos acciones a programar. Por ejemplo, si no se introduce una espera de 0'5 – 1'0 segundos entre la activación de una herramienta y el movimiento del brazo robot, la pieza puede llegar a caerse.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Así pues, de modo preliminar (a falta de validar en el paquete de trabajo 5) se han definido los siguientes comandos verbales, ligados a las acciones anteriormente mostradas:

- Comando "START", para activar el sistema de reconocimiento de voz.
- Comando de programación “ESPERAR”, que introducirá por defecto una espera de 0’5 segundos.
- Comando de programación “COGER”, que activará una salida digital asociada a una herramienta y por tanto, permitiría el agarre de una pieza.
- Comando de programación “SOLTAR”, que desactivará una salida digital asociada a una herramienta y por tanto, permitiría soltar una pieza.
- Comando de programación “GRABAR”, que graba la posición actual del robot y le asocia un movimiento de tipo lineal (Mov L) desde la posición anterior del robot hasta dicha posición.
- Comando de programación “APROXIMAR””, que graba la posición actual del robot y le asocia un movimiento de tipo libre (Mov J) desde la posición anterior del robot hasta dicha posición.
- Comando de programación “FIN”, para desactivar el sistema de reconocimiento de voz.

**Requisitos de los comandos por voz**

Para el correcto funcionamiento del sistema de reconocimiento por voz se han definido una serie de requisitos a cumplir por las palabras que finalmente vayan a ser escogidas para ser verbalizadas y representar a cada uno de los comandos definidos en el apartado anterior. Estos requisitos están relacionados con aquellas buenas prácticas que facilitarán el reconocimiento del comando por el sistema de voz:

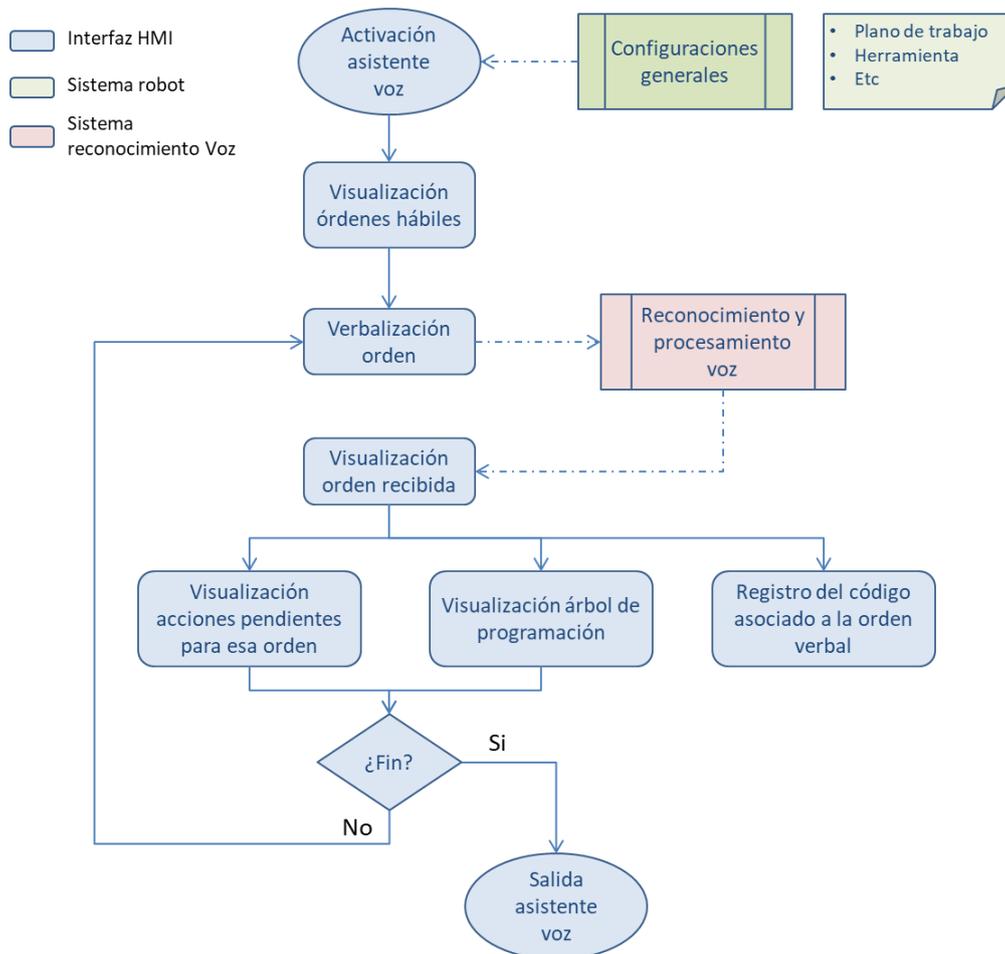
- Evitar el uso de palabras monosilábicas.
- Evitar el uso de palabras con fonemas muy parecidos.
- Utilizar palabras de un solo lenguaje. No utilizar algunas palabras en castellano y otras en inglés, ya que el sistema de reconocimiento de voz, parte de un solo patrón de lenguaje.
- Evitar el uso de números, ya que muchos de ellos son palabras monosilábicas y además con fonemas muy similares.
- Utilizar palabras largas (con varia sílabas). La probabilidad de que coincidan todos los fonemas en palabras largas es mas baja, y por tanto la probabilidad de error al reconocerlas es menor también.

**Protocolo de programación**

Para el desarrollo de una HMI que permita la programación de un robot para una aplicación de pick and place mediante comandos activados por voz, se plantea la creación de una URcap que permita la interacción del robot con el sistema de reconocimiento por voz de comandos concretos.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

A continuación, se muestra un esquema conceptual del procedimiento de programación que se desarrolla en el PT5.



Esquema conceptual del procedimiento de programación

Fuente: AIDIMME

Las configuraciones generales del robot como pueden ser el plano de trabajo, la herramienta, etc., se llevarán a cabo con la interfaz propia del robot (tal y como se lleva a cabo normalmente). Se considera que estas configuraciones implicarían una cantidad de comandos verbales muy extensa y la interfaz resultante tendría una complejidad y dificultad de uso, que iría en la dirección contraria a los objetivos del proyecto: facilitar la programación de robots a personal no experto.

Una vez se hace clic en la URcap del asistente por voz, el usuario podrá ver los comandos verbales que puede utilizar, y el sistema permanecerá en espera activa de recibir dichas órdenes del sistema de reconocimiento de voz.

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

El usuario verbalizará una orden, y una vez el sistema de reconocimiento de voz manda dicha orden, se visualizará en pantalla la orden recibida, así como el resto de órdenes (en éste caso sub-órdenes) que debe dar para finalizar con la orden original.

Con cada orden recibida se irá generando el árbol de programación correspondiente, así como el código de programación asociado, que será opaco al usuario.

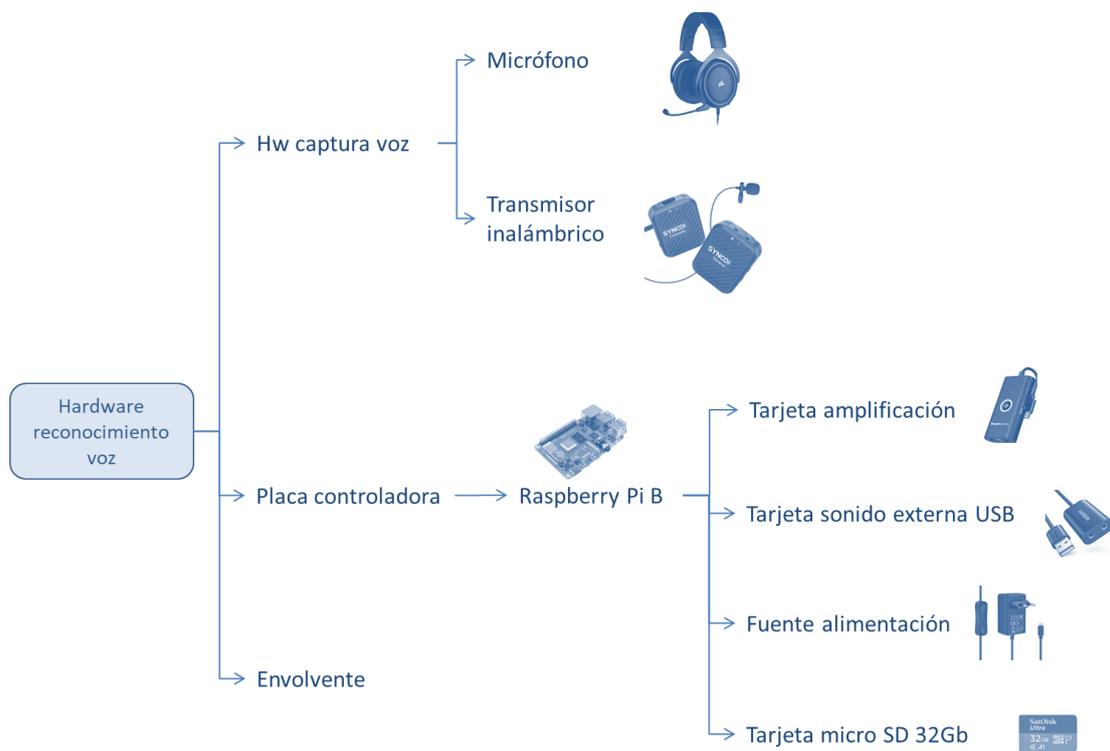
El proceso se repetirá tantas veces como órdenes verbales válidas emita el usuario. Y finalizará con la salida del asistente de voz.

Fuera del asistente de voz se podrán realizar las modificaciones habituales en un programa de robot, tal y como se puede hacer sin el asistente.

### 2.4 Desarrollo e integración del sistema de reconocimiento por voz

#### Componentes hardware requeridos.

Para el desarrollo del sistema de reconocimiento por voz se ha identificado la necesidad de utilización de los diferentes elementos hardware mostrados en la figura siguiente. Se han seleccionado los adecuados para la realización de pruebas.



Elementos hardware del sistema de reconocimiento por voz.

Fuente: AIDIMME

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

### Pruebas previas de funcionamiento del hardware

Con el objetivo de verificar la adecuación a los objetivos del proyecto del hardware adquirido, se realizaron varias pruebas iniciales para verificar su funcionamiento.

#### *Pruebas de sonido en PC*

En primer lugar, se realizó una prueba de conexión directa de los auriculares a un PC de escritorio para comprobar el correcto funcionamiento de los auriculares. Tras la conexión directa de los auriculares al Jack de entrada de 3.5 mm del PC se accedió a la sección de configuración de sonido de Windows para verificar la configuración y realizar los test de sonido.

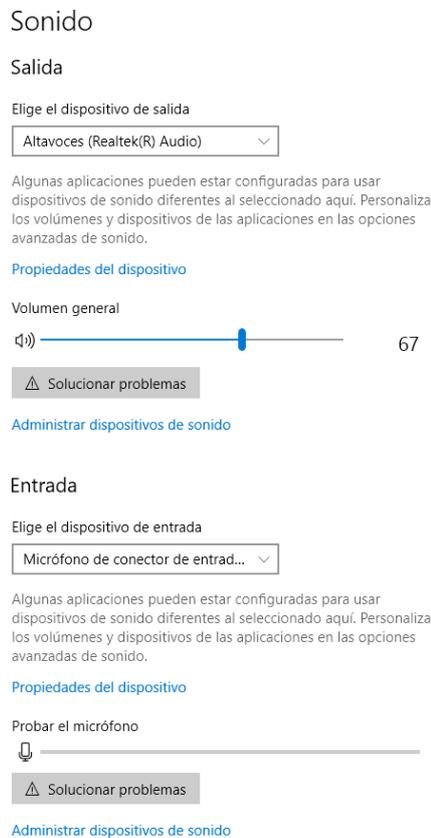


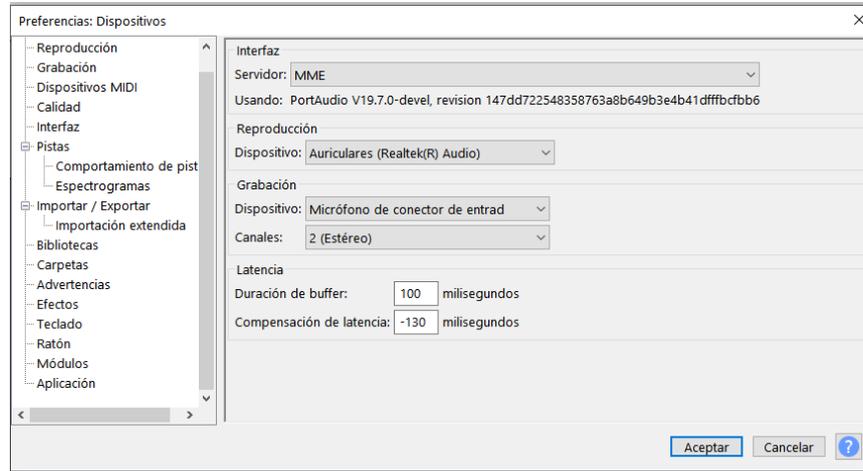
Figura 3: Menú configuración sonido Windows

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.

El resultado detectado fue que los auriculares funcionaban correctamente pero con el micrófono no se detectó entrada de audio.

Tras este resultado se procedió a realizar una captura de audio con la utilidad Audacity, con la siguiente configuración.

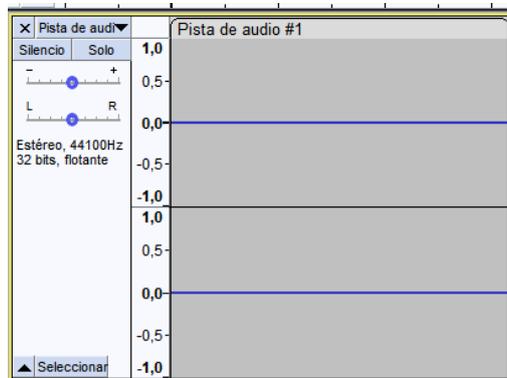
## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Menú configuración sonido Audacity

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.

Se procedió a realizar una grabación de sonido cuyo resultado indicaba ser erróneo, pues no mostraba nivel de sonido.



Resultado prueba sonido con Audacity

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.

Para confirmar que realmente no se ha capturado sonido, se procedió a la normalización del volumen de la grabación con los parámetros siguientes.

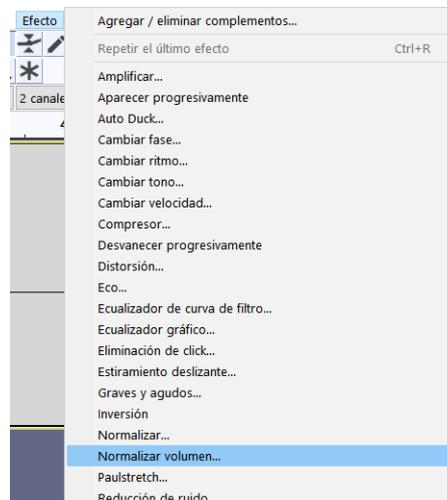


**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

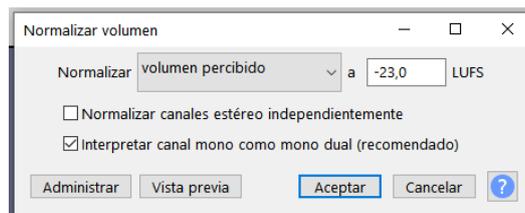


**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Menú de normalización en Audacity

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.



Normalización sonido con Audacity

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.

Al realizar la normalización se comprobó que si se recibía la señal del micrófono aunque de forma muy débil.



Resultado de la prueba de sonido normalizada

Fuente: Captura pantalla AIDIMME.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Por tanto, el micrófono necesita de una amplificación previa a su procesado porque el volumen del audio capturado es muy bajo.

Como resumen de conclusiones de las pruebas practicadas sobre el micrófono, la tarjeta de sonido externa y el sistema de transmisión inalámbrico se puede concluir:

- El sonido de salida del micrófono de los auriculares es muy bajo por lo que se necesita una tarjeta de sonido con amplificación de la entrada.
- La tarjeta USB adquirida en la práctica no tiene amplificación.
- Respecto del sistema de transmisión inalámbrico de audio:
  - ✓ Solo transmite la captura del micrófono. No tiene capacidad para transmitir el audio de salida (el de los altavoces de los auriculares) con lo que los auriculares de los cascos quedan inutilizados.
  - ✓ Tiene 4 niveles de amplificación de la señal del micrófono. El más potente llega a suplir parcialmente la carente amplificación de la tarjeta de sonido externa empleada.
  - ✓ No tiene indicadores visuales del nivel de calidad de señal, ni de volumen.

Tarjeta de amplificación

A la vista de la necesidad de amplificar la intensidad del sonido se adquirió la tarjeta Sound Blaster G3, que se muestra en la imagen.



Figura 4: Tarjeta amplificadora de sonido

Fuente: Amazon

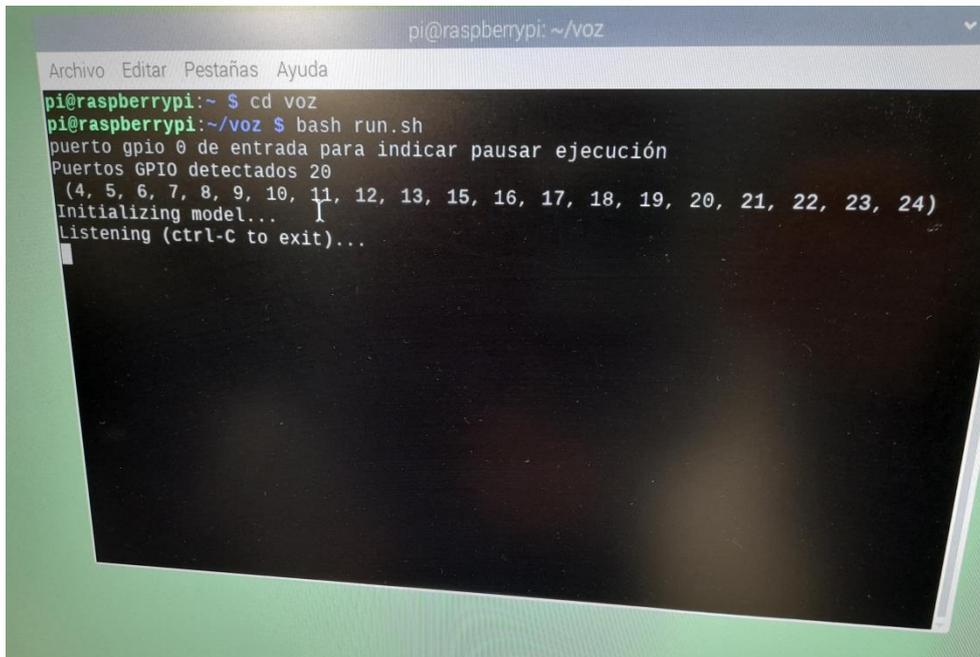
Con esta tarjeta, se comprueba que la intensidad del sonido es acorde a las necesidades del proyecto.

Pruebas de funcionamiento.

Para comprobar el funcionamiento del sistema de reconocimiento de voz se realizaron pruebas de lectura de las palabras clave asociadas a los diferentes comandos de

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

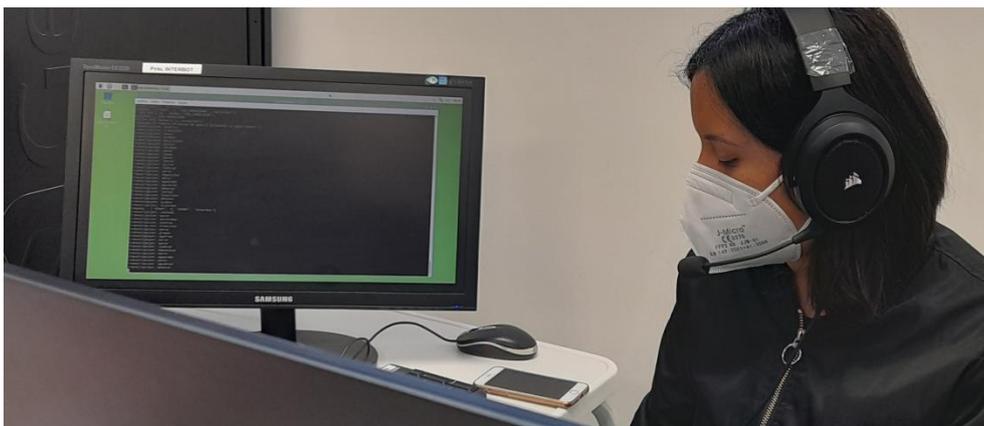
programación definidos. Durante las pruebas se comprobó como el sistema era capaz de reconocer las palabras preliminarmente definidas.



```
pi@raspberrypi: ~ $ cd voz
pi@raspberrypi:~/voz $ bash run.sh
puerto gpio 0 de entrada para indicar pausar ejecución
Puertos GPIO detectados 20
(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)
Initializing model...
Listening (ctrl-C to exit)...
```

Pantalla de arranque del sistema de reconocimiento de voz

Fuente: Elaboración propia



Ejemplo de pruebas de funcionamiento realizadas

Fuente: Elaboración propia



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

## 2.5 Integración de los sistemas de visión

El entorno de programación Polyscope (para los robots colaborativos Universal Robots), permite el desarrollo de URCaps (desarrollos de software) para aplicaciones y herramientas. Estos desarrollos se llevan a cabo para hacer posible una configuración sencilla e intuitiva, a cualquier operario tanto de las herramientas empleadas, como de distintas operaciones (paletizado, atornillado, búsqueda de objetos...) que realiza el robot.

Como se ha comentado anteriormente, el sistema de voz empleará una Urcap para integrarlo en el sistema Polyscope. Esta funcionalidad, si bien supone una ventaja de la robótica colaborativa y en concreto de los robots UR, se ha identificado una limitación en cuanto a la utilización combinada de URCaps.

Por un lado, es posible emplear varias URCaps en el desarrollo de un programa de robot del modo tradicional, lo que como se menciona anteriormente facilita en gran manera dicha programación. Pero en el desarrollo de una Urcap personalizada, no es posible emplear una Urcap de Fabricante, es decir no se puede implementar una URCap dentro de otra Urcap, por lo que no es posible hacer integraciones de las mismas.

Solo podrían combinarse herramientas si la nueva URCap se desarrolla de forma nativa para ambas herramientas. Pero este tipo de desarrollo presenta el problema del acceso a los códigos fuente de los distintos fabricantes, los cuales no permiten el acceso.

Además de este problema, como resultado del análisis realizado del uso de los sistemas de visión artificial, se han identificado una serie de barreras a la hora de desarrollar una URCap nativa, que integre la visión artificial en el método de programación.

### 1. Falta de sencillez de la URCap resultante.

El operario programador debería de memorizar un gran número de comandos de voz para configurar el sistema y definir los nodos necesarios. La Urcap resultante tendría una complejidad de uso muy elevada, alejándola del objetivo del proyecto de generar una interfaz sencilla y amigable.

### 2. Barreras del conocimiento previo en sistemas de Visión Artificial.

La utilización de sistemas de visión artificial requiere de formación específica para comprender su uso, limitaciones y funcionamiento. Este tipo de conocimiento se aleja de la formación habitual de un operario de planta, usuario al que va destinado el resultado del proyecto.

Por todo ello, se descarta realizar un desarrollo de una URCap nativa integrada con el sistema de reconocimiento de voz y un sistema de visión artificial, para generar el programa de robot.

La funcionalidad que aportaba el sistema de visión artificial era el reconocimiento de las piezas, identificando la posición (coordenadas) donde debe acudir el robot a recoger la pieza.

Sin embargo, tal y como se ha descrito anteriormente, el protocolo de programación definido establece que es el propio operario el que desbloquea el robot durante la programación y lleva la herramienta hasta la posición deseada (donde debe recoger la pieza). A continuación, ese punto se graba y pasa al árbol de programación.



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Por tanto, la funcionalidad que aportaba el sistema de visión no queda vacante con los desarrollos a realizar dentro del proyecto, siendo cubierta por los comandos de voz definidos.

**2.6 Referencias**

- [1] <https://www.svds.com/open-source-toolkits-speech-recognition/> , consultado 07/2021.
- [2] <https://cmusphinx.github.io/> , consultado 07/2021.
- [3] K. Lee, H. Hon and R. Reddy, "An overview of the SPHINX speech recognition system," in *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 38, no. 1, pp. 35-45, Jan. 1990, doi: 10.1109/29.45616.
- [4] [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/pub2/lee\\_k\\_f\\_1990\\_1/lee\\_k\\_f\\_1990\\_1.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub2/lee_k_f_1990_1/lee_k_f_1990_1.pdf) , consultado el 07/2021.
- [5] <https://github.com/cmusphinx/pocketsphinx> , consultado el 07/2021.
- [6] J. D. Celis, R. A. Llanos, B. Medina, S. B. Sepulveda, S. A. Castro, “ Acoustic and Language Modeling for Speech Recognition of a Spanish Dialect from the Cucuta Colombian Region”, *Ingeniería*, vol. 22, no. 3, pp. 362-376, 2017.
- [7] <https://pypi.org/project/SpeechRecognition/> , consultado el 07/2021.
- [8] [https://github.com/Uberi/speech\\_recognition#readme](https://github.com/Uberi/speech_recognition#readme) , consultado el 07/2021
- [9] <https://sourceforge.net/projects/cmusphinx/files/Acoustic%20and%20Language%20Models/> , consultado el 08/2021.
- [10] <https://github.com/Kitt-AI/snowboy> , consultado el 08/2021.
- [11] <https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/?badge=latest#> , consultado el 07/2021.
- [12] <https://github.com/mozilla/DeepSpeech> , consultado el 07/2021.
- [13] [https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/\\_images/rnn\\_fig-624x598.png](https://deepspeech.readthedocs.io/en/r0.9/_images/rnn_fig-624x598.png) , consultado el 08/2021.
- [14] <https://arxiv.org/pdf/1412.5567.pdf> , consultado el 08/2021.
- [15] <https://www.iberoptics.com/> , consultado el 07/2021.
- [16] <https://www.keyence.com/> , consultado el 07/2021.
- [17] <https://www.infaimon.com/> , consultado el 07/2021.
- [18] <https://www.onrobot.com/> , consultado el 08/2021.
- [19] <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/> , consultado el 08/2021



“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

[20] [www.cfzcobots.com](http://www.cfzcobots.com), consultado el 08/2021

### 3 Desarrollo del sistema de programación

El objetivo de este paquete de trabajo era desarrollar el sistema de generación automática de trayectorias complejas a partir de los comandos de voz simples y del reconocimiento de imágenes en la etapa final de aproximación. Además se ha desarrollado el sistema de seguridad para evitar acciones que pudieran dañar al propio robot, al entorno o a las personas. Finalmente se ha obtenido la interfaz gráfica para implementar el sistema de programa desarrollado.

#### 3.1 Validación de los comandos de voz a emplear

Realizar una programación de movimientos y acciones del robot mediante órdenes verbales requiere de un replanteamiento completo del sistema de programación, totalmente diferente al método tradicional de programación de robots, basado en los menús, botones y opciones de las pantallas. Además, hay que tener en cuenta que el desarrollo pretende ser de utilidad para aquellos usuarios no especialistas en programación o robótica, para que de manera muy fácil e intuitiva puedan implementar aplicaciones de logística.

Por ello se ha propuesto un procedimiento propio para el desarrollo del programa con la URCap de Interbot, en el que con pocas instrucciones se completan las acciones necesarias para la aplicación.



Propuesta de procedimiento.

Fuente: Aidimme

De esta manera se proponen las instrucciones anteriores, en la que cada una contendrá uno o varios comandos pre-programados. Para emplear los comandos con mejor reconocimiento por el sistema de voz se ha llevado a cabo un proceso de validación mediante el testeo por diversos usuarios, en distintas condiciones ambientales de ruido de algunos comandos, a fin de establecer cuáles son los comandos óptimos para el sistema de reconocimiento de voz.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

La programación de un robot mediante comandos por voz tendrá que llevarse a cabo de forma habitual en un entorno industrial (una planta de fabricación), donde el propio operario tendrá que verbalizar las órdenes que den lugar a la secuencia de movimientos y acciones que desea automatizar.

Por tanto, uno de los mayores retos del sistema de reconocimiento es mantener su precisión en entornos industriales donde el nivel de ruido es elevado, dado que alrededor hay máquinas y otros operarios trabajando.

Para simular entornos industriales con diferentes niveles de intensidad de ruido, se va a utilizar una grabación de ruidos y sonidos de máquinas industriales trabajando. Esta grabación reproducida con diferentes niveles de volumen permitirá generar los mencionados escenarios.

Se ha utilizado un sonómetro para medir la intensidad sonora de tres escenarios de nivel de ruido que se han planteado. Cada escenario se corresponde con un incremento del volumen de sonido del reproductor de sonido empleado. Se ha comenzado con un porcentaje del sonido del 0% (ambiente de oficina sin ruido de teléfonos, impresoras o conversaciones). A partir de ahí se ha incrementado el volumen un 40% en cada escenario hasta llegar a un tercer escenario 100% donde el nivel de ruido era muy intenso, y era difícil identificar órdenes verbales.

Para correlacionar cada escenario con una medición de intensidad sonora se ha utilizado el sonómetro, tomando mediciones del parámetro LAeq durante 1 minuto. El índice de ruido LAeq es el nivel de presión sonora continuo equivalente pondera A, en decibelios, determinado sobre un índice temporal (en este caso 1 minuto), definido en la norma UNE ISO 1996-1:2005.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de las mediciones realizadas para los cuatro escenarios de nivel de ruido, colocando el sonómetro a 1 metro del ordenador que reproduce el sonido.

Escenario de ruido	Nivel de	Porcentaje barra sonido	LAeq (dB)
1		0%	42
2		40%	65
3		100	80

Además de los medios físicos para la realización de las pruebas, se ha requerido de la participación de medios humanos, que verbalizaran los diferentes comandos de voz que el robot debe de interpretar, bajo las diferentes condiciones de ruido del experimento. Se ha



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
 INSTITUTO VALENCIANO DE  
 COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

buscado una muestra de usuarios lo mas heterogénea posible en cuanto a sexo (hombre / mujer), intensidad de voz (baja / alta) o posible acento que pudiera tener el usuario por no ser el castellano su lengua materna. El perfil de los usuarios participantes en las pruebas es el mostrado en la siguiente tabla.

Usuario test	Sexo	Intensidad de voz	Lengua materna
1	Hombre	Normal	Castellano
2	Hombre	Normal	Castellano
3	Hombre	Alto	Castellano
4	Hombre	Bajo	Búlgaro
5	Mujer	Bajo	Castellano
6	Mujer	Alto	Valenciano
7	Mujer	Bajo	Castellano
8	Mujer	Normal	Castellano

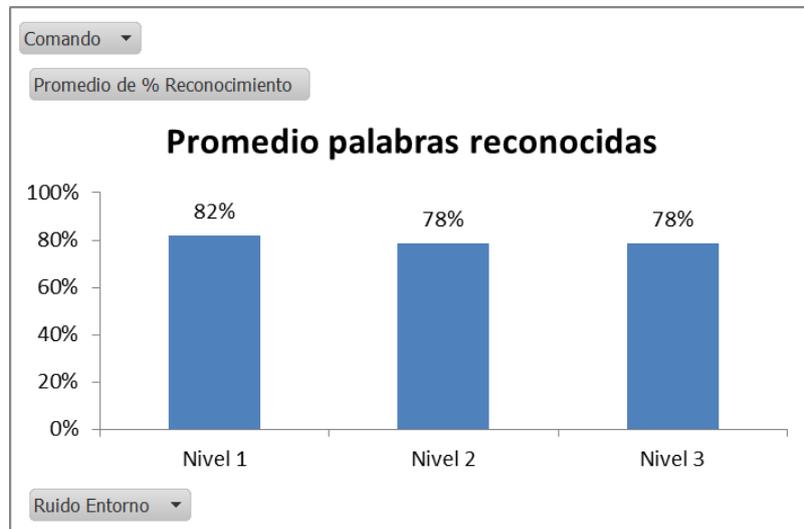
Los ocho usuarios seleccionados utilizaron el sistema de reconocimiento de voz y leyeron las palabras asociadas a cada uno de los comandos según un plan previamente establecido.

A continuación se recogen las principales conclusiones respecto de dicha validación.

Nivel de ruido

Al realizar un análisis del porcentaje de palabras reconocidas en cada uno de los tres niveles de ruido se aprecia que no ha habido grandes diferencias entre ellos. Es verdad que en el nivel 1 (sin ruido adicional, al existente en un entorno de trabajo en laboratorio de pruebas) el porcentaje de reconocimiento es algo superior que en los niveles 2 y 3 donde se indujo ruido externo.

Entre el nivel 2 y el nivel 3 no hay diferencia en cuanto al promedio de palabras reconocidas, tal y como se puede comprobar en la siguiente gráfica.

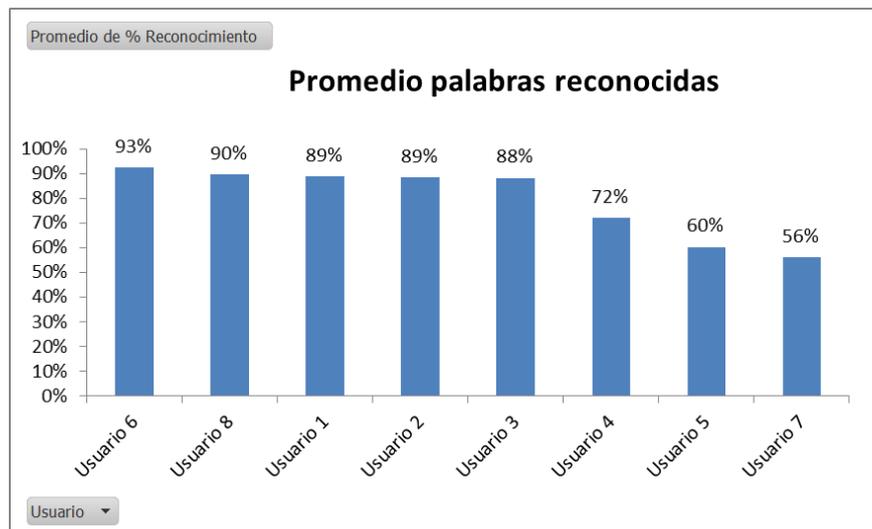
**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Promedio de palabras reconocidas por nivel de ruido

Fuente: AIDIMME

Perfil de usuario

Si que hay grandes diferencias en cuanto al perfil de usuario que ha realizado las pruebas. En la siguiente gráfica se puede comprobar como los usuarios 1, 2, 3, 6 y 8 alcanzan un porcentaje de reconocimiento de palabras en el entorno del 90%, los usuarios 5 y 7 se sitúan entre el 50-60% de reconocimiento.



Promedio de palabras reconocidas por tipo de usuario

Fuente: AIDIMME


**GENERALITAT  
VALENCIANA**
**IVACE**  
 INSTITUTO VALENCIANO DE  
 COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Los tres usuarios con menor porcentaje de palabras reconocidas se corresponden con los usuarios con una intensidad en el tono de voz menor. Esta característica se ha mostrado de mayor relevancia, que otras como el género o la lengua materna.

Análisis por comandos

Tras realizar las oportunas pruebas con todos los usuarios y establecer el porcentaje de reconocimiento de las posibles palabras a utilizar, se decidió seleccionar un conjunto de vocablos para definir las órdenes.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes comandos de voz empleados para ser transformados en acciones de programa del robot, la palabra que mejor porcentaje de reconocimiento presenta, palabras alternativas que tienen un promedio de reconocimiento por encima del 90%, y finalmente, aquellas palabras que quedarían descartadas por tener un nivel de reconocimiento bajo durante las pruebas realizadas.

Comando	Acción	Palabra selección	Palabras alternativas	Palabras descartadas
<b>START</b>	Inicia el sistema de escucha. Es la palabra clave a utilizar antes de cada comando	<b>robot</b>	comando, interbot	despertar
<b>GRABAR</b>	Graba la posición actual del robot y genera un movimiento de tipo libre hasta dicho punto	<b>grabar</b>	ubicar, mover	situar, posicionar, desplazar
<b>APROXIMAR</b>	Graba la posición actual del robot y genera un movimiento de tipo lineal hasta dicho punto	<b>aproximar</b>	-	transitar, acercar, cincunvalar, circundar
<b>COGER</b>	Activa una salida digital, asociada a la herramienta que permite coger la pieza	<b>atrapar</b>	tomar	sujetar, pillar, cargar, coger, cerrar, agarrar, capturar
<b>SOLTAR</b>	Desactiva una salida digital, asociada a la herramienta que permite soltar la pieza	<b>abrir</b>	liberar, depositar	soltar, dejar, descargar



**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

<b>ESPERAR</b>	Programa una espera en la ejecución del programa	<b>aguardar</b>	demorar, aguantar	pausar, esperar	tardar,
<b>FINALIZAR</b>	Detiene el sistema de escucha	<b>detener</b>	acabar, finalizar, terminar	fin	

### 3.2 Sistema de generación de secuencias del programa

Para evitar problemas en el desarrollo de la URCap con comandos que solo funcionan en modo ejecución, se plantean los comandos bloquear y liberar el brazo robot como un sistema de ayuda al operario, ya que para la programación, es necesario posicionar el cabezal de forma manual e intuitiva en las posiciones necesarias.

Dichos comandos serán gestionados mediante un pulsador en el cabezal del robot, en la zona donde el operario sujetará el cabezal para trasladarlo. Así dispondrá de las dos manos situadas en el cabezal con una de ellas activara el pulsador para liberar y moverlo como desee. Y una vez situado solo requerirá soltar dicho pulsador para dejar el robot fijo en dicha posición, a partir de la cual procederá con la secuencia de programación por voz.

Para ello se ha requerido:

- Pulsador miniatura



pulsador para la liberación del robot para su movimiento libre

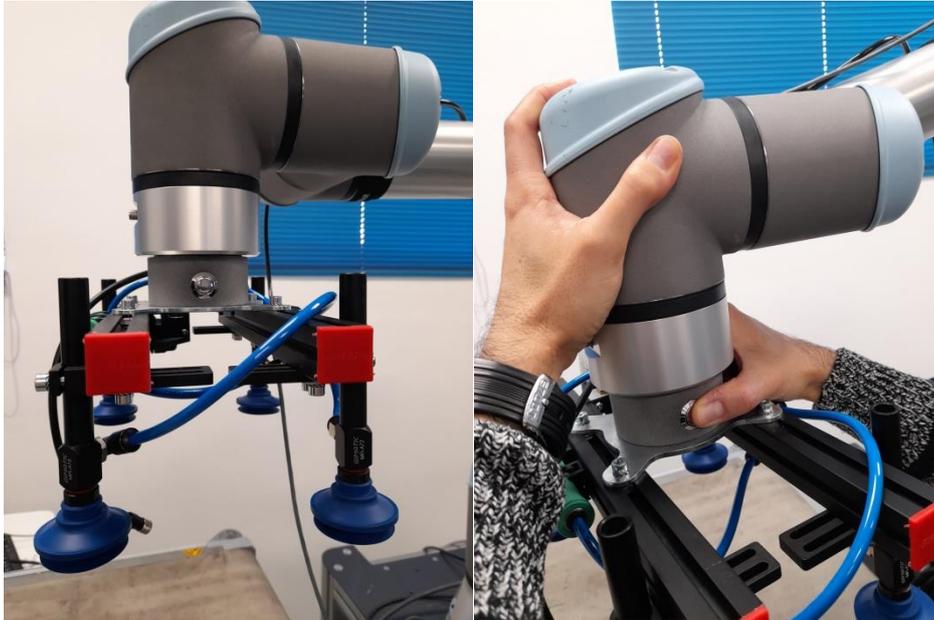
Fuente: RS componentes

- Diseño y fabricación mediante fabricación aditiva de una Brida, para instalar el pulsador entre el cabezal y la herramienta.

El diseño de la brida se ha llevado a cabo de modo que se pueda fijar el pulsador, y la brida tanto al cabezal del robot como a la herramienta de trabajo.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

En las siguientes imágenes se muestra la brida ya fabricada e instalada, con el pulsador alojado en ella.



Montaje de la brida en el cabezal del robot y la herramienta

Fuente: AIDIMME

Además de la brida con el pulsador, se ha dispuesto un sistema de señalización luminosa para indicar de forma visual que el comando de programación ha pasado de forma correcta a la programación del robot.

Para ello se ha diseñado un sistema con una baliza que se iluminara cuando el comando se reciba en el robot. De esta manera si la baliza no se ilumina el operario sabrá sin necesidad de consultar el árbol de programación que el comando no ha pasado correctamente al programa, pudiendo repetirlo para que sea recibido por el robot.

En la siguiente imagen se muestra la baliza seleccionada, ubicada sobre la envolvente del sistema de reconocimiento de voz.



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

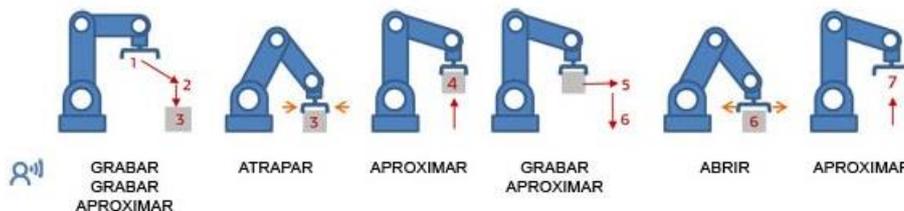


Baliza luminosa sobre envoltorio del sistema de reconocimiento de voz.

Fuente: AIDIMME

## PROCEDIMIENTO DE PROGRAMACIÓN

Para poder llevar a cabo el desarrollo de un programa de robot para una aplicación de pick & place deberán de verbalizarse los comandos de voz tal y como se representa en la siguiente imagen.



- A. Mover robot a una posición 1 y utiliza el comando de voz "Robot + Grabar", para fijar un punto de inicio.
- B. Mover robot a una posición 2 sobre la pieza a coger y utiliza el comando de voz "Robot + Grabar".
- C. Mover robot a una posición 3 tocando la pieza a coger y utiliza el comando "Robot + Aproximar"
- D. En posición 3 indicar el comando "Robot + Atrapar".
- E. Mover robot a posición 4 y utiliza el comando "Robot + Aproximar".
- F. Mover el robot a una nueva posición 5, sobre el lugar a dejar la pieza y utiliza el comando "Robot + Grabar".
- G. Mover el robot a la posición 6 y utiliza el comando "Robot + Aproximar".
- H. En posición 6 indicar el comando "Robot + Abrir".
- I. Mover el robot a la posición 7 y utilizar el comando "Robot + Aproximar".

Importante: Antes de cada comando verbal decir la palabra clave "Robot".

Programación del Pick & Place

Fuente: Aidimme



GENERALITAT  
VALENCIANA

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Cofinanciado por  
la Unión Europea

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

**“Robot Grabar”**: tras posicionar el robot en una posición de inicio segura, conocida como punto Home. Este comando permite insertar un movimiento, grabando ese punto de forma automática. El tipo de movimiento que se genera es del tipo Mover J, lo que permite que el robot se mueva de un punto a otro por la trayectoria más favorable. Este nodo puede usarse para insertar tantos puntos como sean necesarios para generar una trayectoria.

**“Robot Aproximar”**: tras posicionar el robot sobre el articulo a mover o en cualquier punto deseado, al emplear este comando se añade un movimiento grabando el punto en el que se ubica el robot. El tipo de movimiento que se inserta con este comando es del tipo Mover L, lo que permite hacer movimientos lineales cuando sean necesarios.

**“Robot Atrapar”**: al estar en la posición de agarre del objeto, al emplear este comando se activará una salida digital relacionada con la herramienta de trabajo, por ejemplo, una garra por vacío (ventosa). Se activará la salida digital que activa el sistema de aire comprimido o vacío.

Con este comando opcionalmente, insertará un nuevo valor de carga activa. Para ello hay que indicar el peso de la pieza a coger en el campo Peso carga, que se encuentra en la parte superior de la pantalla de la URCap.

**“Robot Abrir”**: al estar en la posición de dejada del objeto, al emplear este comando se desactivará una salida digital relacionada con la herramienta de trabajo, usando el ejemplo de la instrucción Coger, en este caso se desactiva la salida digital que activa el sistema de aire comprimido o vacío.

Al insertar el comando Soltar, el valor de carga activa se pone a cero/resetea. Quedando activa la carga definida por instalación.

Al emplear los comandos Coger y Soltar, en cada uno de los nodos se inserta además de la activación o desactivación de la señal, se agrega una espera para asegurar la correcta cogida y suelta del objeto.

**“Robot Aguardar”**: este comando inserta una espera de medio segundo. Se puede emplear en cualquier parte de la programación e incluso puede emplearse para añadir tiempo de espera a los comandos Coger y Soltar.

Con estos comandos será suficiente para que el robot realice el trabajo de recoger una pieza en un punto y desplazarlo a otro, en el que lo depositará.

**“Robot Detener”**: con este comando se detiene el sistema de reconocimiento por voz. De esta manera se evita que el operario al hablar con otra persona o de forma accidental inserte un comando al árbol de programación.

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

### 3.3 Identificación de riesgos en la utilización del sistema

#### Riesgos durante la ejecución de la aplicación

La aplicación de pick and place para la que se ha desarrollado la interfaz HMI INTERBOT no requiere de la presencia de un operario en su ejecución. Por tanto no se va a dar una colaboración entre ambos.

En el caso de que un operario interactuara de alguna manera no planificada con el robot, durante la ejecución del programa, las medidas de seguridad descritas en el apartado 5.2 del presente documento son suficientes ya que la interfaz HMI desarrollada no interviene en el modo ejecución de un programa (solo en el modo de programación).

#### Riesgos durante la programación mediante HMI INTERBOT

El desarrollo del proyecto Interbot implica la programación de una aplicación del tipo pick and place, para mover un objeto desde una posición A hasta otra B. Es durante la programación del robot cuando el operario interactúa con el mismo, y es donde hay que realizar el análisis de riesgos. Para desarrollar el programa con la interfaz HMI por voz será necesario que el operario mueva manualmente el robot a las posiciones deseadas.

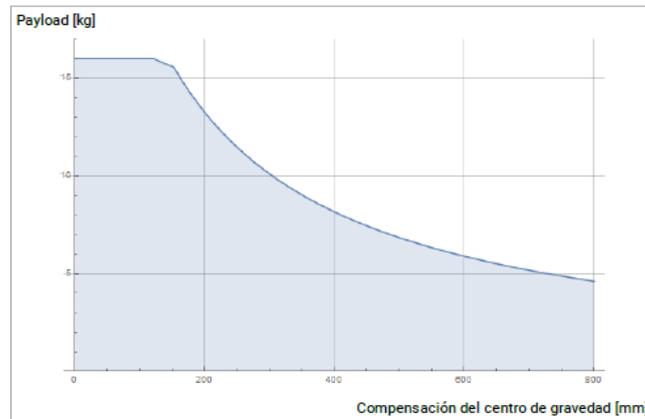
En cuanto a la introducción de la programación, esta no se realiza a través de la consola, sino a través de la interfaz HMI mediante comandos de voz. Estos pueden ser indicados a una distancia de seguridad en caso necesario, ya que los dispositivos empleados son inalámbricos.

Además, se cuenta con una baliza que indicará si los comandos han pasado con éxito a la programación. En el caso de que se desee comprobar o modificar algo de la programación, se estará condicionado por la distancia a la que pueda trasladarse la consola de programación.

Por tanto, los únicos riesgos que se identifican durante la fase de programación del robot son:

#### ***Lesiones por esfuerzo al mover el robot***

Desde el punto de vista de la ergonomía las cargas a mover nunca superaran los 15 kilos, ya que es el límite de carga máxima que permite mover el robot. Por otro lado, las distancias a la que se desplacen los objetos también limitaran el peso de la carga que puede ser manipulada por el robot.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Carga útil que puede manipular el robot en función de la distancia de manipulación

Fuente: Manual de Universal Robots

***Lesiones por impacto o corte de la herramienta***

Si la herramienta de agarre dispone de aristas o esquinas cortantes, el programador puede llegar a lesionarse al realizar el programa, ya que tiene que manipular la herramienta para grabar por voz los puntos de la trayectoria.

Si el operario activa la herramienta con la mano dentro, podría generar atrapamiento.

**MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA INTERBOT.**

Se dispondrá de un botón en el cabezal del brazo robot, para facilitar el movimiento libre del mismo, por solo un operario.

Se debe evitar manipular piezas de gran volumen o peso cercano a los 10 Kg, ya que el programador debería de mover manualmente la pieza junto a la herramienta y soportar el peso de la misma al moverla con las manos.



Ejemplo de piezas difíciles de manipular durante la programación

Fuente: AIDIMME



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

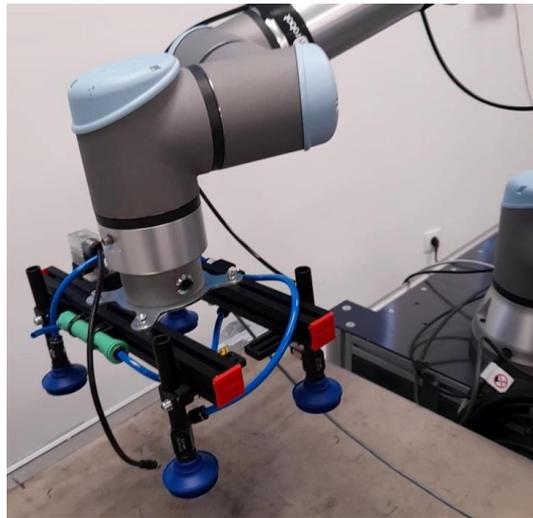
**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

La herramienta a emplear para la aplicación, es una garra por vacío con ventosas. Esta herramienta está diseñada mediante perfilaría de aluminio y elementos para vacío con piezas móviles. No obstante, no tiene ninguna arista cortante ni zonas en las que se pueda producir atrapamiento.



Herramienta de agarre empleada

Fuente: AIDIMME

Además el diseño de la brida que contiene el botón de movimiento libre, obliga a tener las manos situadas por encima de la herramienta a la hora de realizar movimientos manuales del robot, lo que implica una reducción del riesgo de golpe o atrapamiento de la herramienta.



Brida con pulsador para el movimiento libre

Fuente: AIDIMME

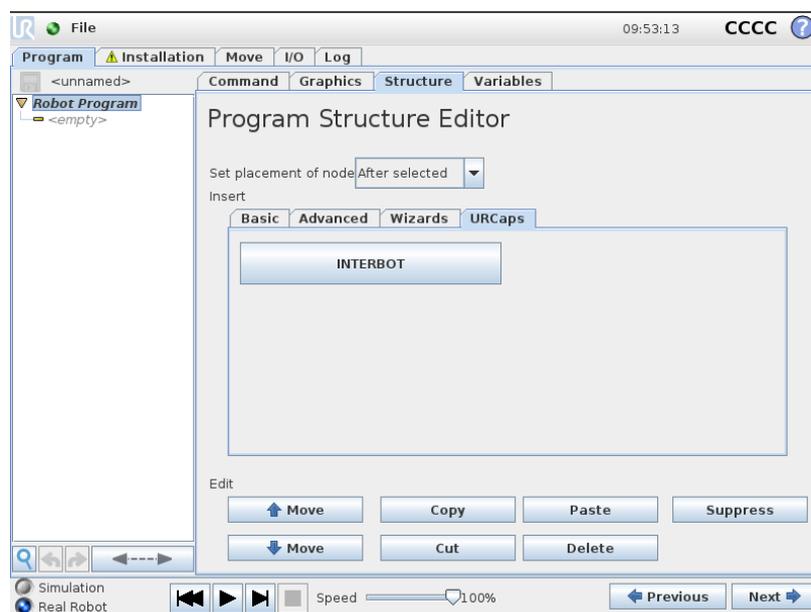
“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

### 3.4 Interfaz gráfico para el proceso de programación

#### Vista de desarrollo en Polyscope

Seguidamente se presentan las pantallas de la URCap desarrollada dentro del proyecto, y las funcionalidades asociadas a cada una de ellas.

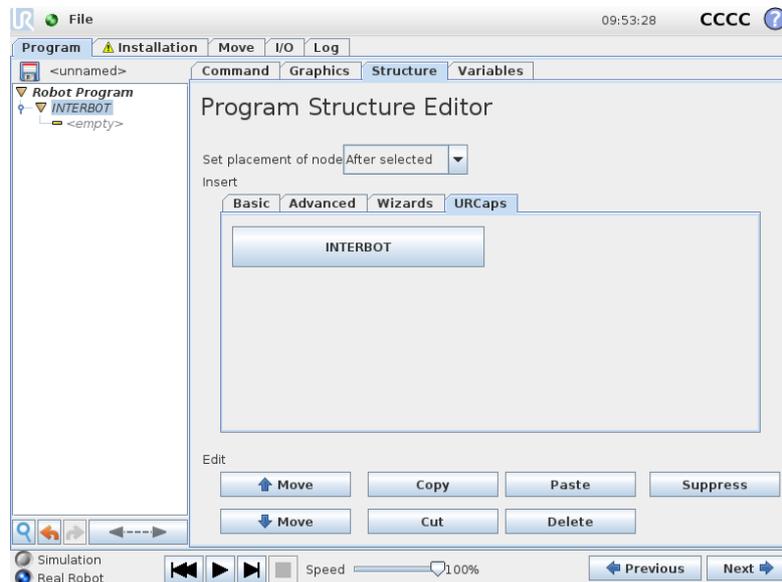
En la pantalla del Polyscope de Universal Robot, en el apartado URCaps tendremos disponible la URCap desarrollada.



Pantalla general de Polyscope con la URCap Interbot

Fuente: Aidimme

Al pulsar en ella (sobre el botón INTERBOT) se agregará al árbol de programación.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Pantalla donde se ha agregado Interbot al árbol de programación

Fuente: Aidimme

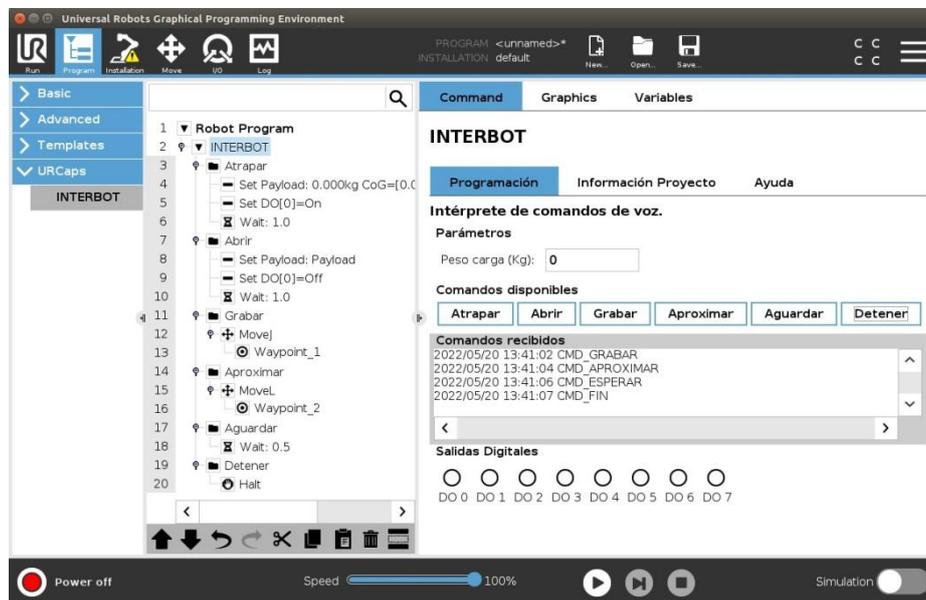
Una vez añadida al árbol de programación, ya es posible emplear la interfaz HMI por voz para dictar los comandos de programación.

Si se tiene acceso a la consola del robot, en la pestaña de comandos de Polyscope se puede ver una pestaña de programación en la que se nos muestra los comandos disponibles, así como los comandos recibidos desde la interfaz por voz.

Además se dispone de un panel de información en el que se detalla la activación o desactivación de las salidas digitales al emplear comandos como “SOLTAR” o “COGER”. También desde esta pantalla se puede conectar o desactivar la salida al pulsar sobre el indicador de la salida deseada.

En la siguiente pantalla se muestra un programa realizado con la interfaz HMI por voz, en la que se puede ver el registro de comandos recibidos mediante esta. Además se puede comprobar la señal digital activada por medio del uso de un comando.

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Ejemplo de programa realizado

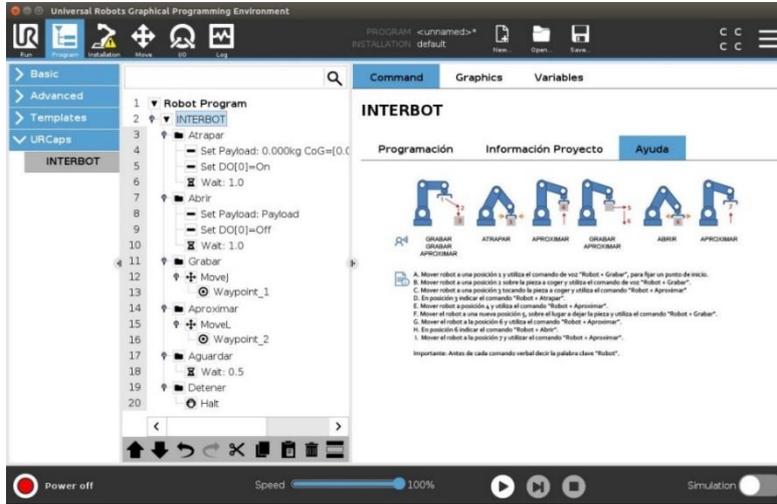
Fuente: Aidimme

Podemos encontrar otra pestaña en la que se muestran las instrucciones a seguir para emplear la interfaz de programación por voz.

En esta se dispone de una gráfica con las distintas acciones a realizar para llevar a cabo una aplicación de pick and place. Con la indicación de los comandos verbales que se emplearán en cada caso.

Por último, se muestra un texto de instrucciones en donde se detallan de forma pormenorizada las acciones a realizar para la programación de la aplicación de pick and place.

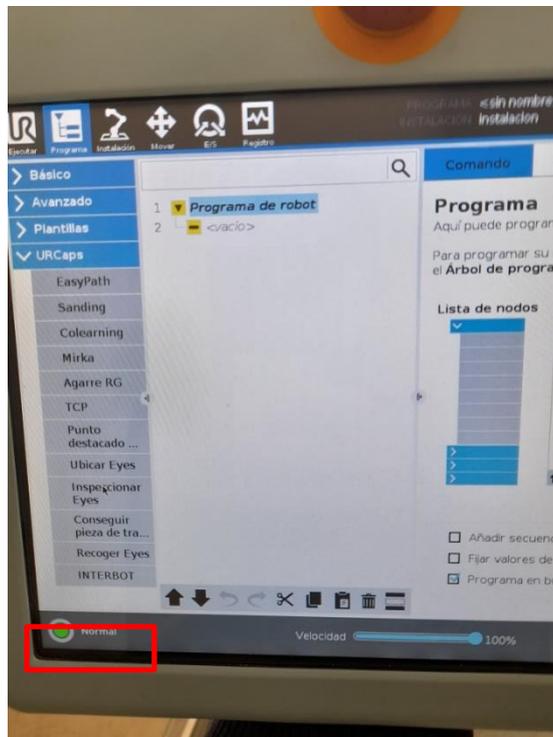
**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**



Vista de las instrucciones para programar una operación de pick & place. Fuente: Aidimme

Sistema HMI final

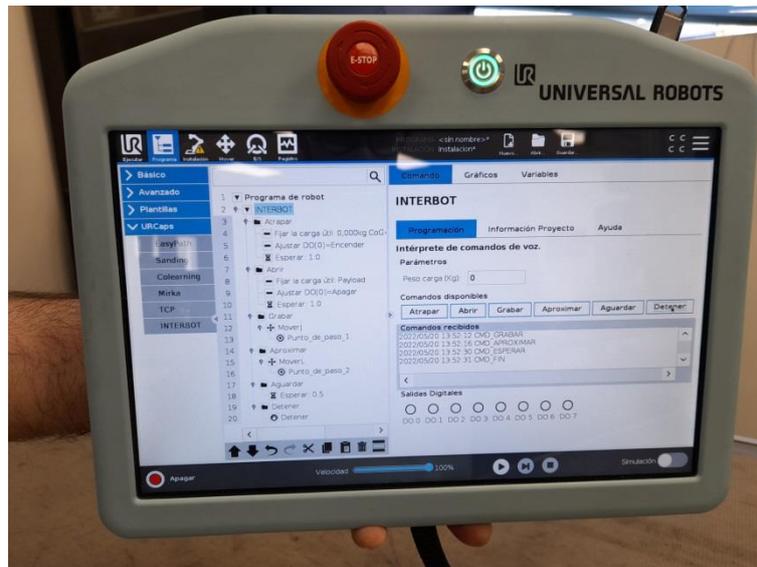
Una vez instalada la URCap e iniciado el servicio de escucha ya es posible emplear la interfaz de programación HMI por voz. Para ello dispondremos de la misma en el menú de programación del robot, el botón para añadirla al árbol de programación.



Pantalla donde iniciar la URCap. Fuente: Aidimme

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

Una vez agregada la URCap al árbol de programación, el usuario ya puede enviar los comandos de voz necesarios para programar la aplicación de pick and place, siguiendo las instrucciones disponibles en la propia URCap.



Ejemplo de programa generado. Fuente: Aidimme



Ejemplo de uso de interfaz HMI INTERBOT. Fuente: Aidimme

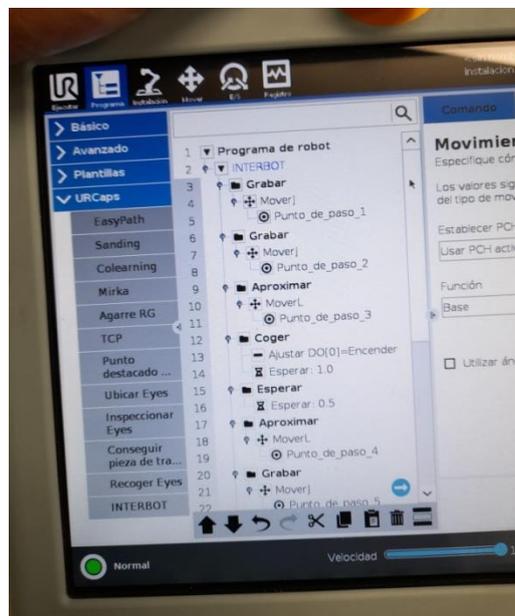
## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

A medida que el usuario envía los comandos de programación mediante la interfaz por voz, el robot va recibiendo los mismos y creando el árbol de programación. Cada vez que se recibe un comando correctamente una señal luminosa nos indica que dicho comando ha sido recibido.

La baliza luminosa tiene distintas formas de iluminación, que sirve de ayuda a los operarios para que, sin necesidad de mirar la pantalla de la consola de programación, puedan conocer si el sistema de reconocimiento de voz se encuentra en reposo, si está a la escucha o si los comandos indicados son recibidos por el robot.

- Luz Ámbar con Iluminación intermitente cada 10 segundos: Si la baliza muestra este tipo de iluminación nos indica que el sistema está en reposo.
- Luz Ámbar con Iluminación fija: Si la baliza muestra este tipo de iluminación nos indica que el sistema está a la escucha y que ya podremos indicar cualquier comando de voz. En caso de que no se indique comando alguno en unos 15 segundos El sistema pasará al modo reposo con su correspondiente iluminación.
- Luz Verde con Iluminación fija: Esta iluminación indica que el comando de voz indicado ha pasado correctamente al árbol de programación del robot.

Continuando la programación del robot, una vez finalizada la programación de la aplicación pick and place, esta se encontrará disponible para la ejecución.



Ejemplo de árbol de programación completo. Fuente: Aidimme

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

## 4 Desarrollo del piloto demostrativo de las tecnologías desarrolladas

El objetivo de este paquete de trabajo era validar el sistema de generación automática de trayectorias complejas a partir de los comandos de voz simples mediante pruebas piloto.

Se realizaron pruebas piloto de validación tanto en instalaciones de AIDIMME como en la empresa colaboradora usuaria de estos sistemas.

### 4.1 Organización y diseño de las pruebas piloto

Para el piloto demostrativo se plantea la réplica de un proceso de “pick & place” en la alimentación de piezas a una de las líneas de pulimento de la empresa colaboradora MICUNA.

Con esta réplica se pretende validar, por un lado, la viabilidad de llevar a cabo proceso de manipulación de piezas mediante una aplicación automatizada con un robot colaborativo.

Una vez validado el proceso mediante la réplica, una segunda parte del piloto consistirá en la validación de la funcionalidad de la interfaz humana HMI de programación por voz (objetivo de las actividades de I+D llevadas a cabo con el presente proyecto).

Para ello es necesario que personal de la empresa colaboradora, sin experiencia previa en el empleo de robots colaborativos, realice la programación de la aplicación previamente validada.

El operario debe recibir una orientación previa sobre el trabajo a realizar y mostrarle las instrucciones disponibles en la URCAP, que puede seguir para la programación de la aplicación.

La orientación de los operarios ha seguido la siguiente planificación:

- Añadir la URCap Interbot al árbol de programación.
- Cambiar entre pestañas de la URCAP para visualizar la ayuda en cualquier momento.
- Indicar la selección del nodo INTERBOT en el árbol de programación para que funcione la interfaz HMI por voz.
- Añadir el peso de la pieza de trabajo.
- Breve explicación de cómo se realiza con el robot el pick and place, haciendo un ejemplo de programa para que se entienda las instrucciones a fin de acelerar el proceso de aprendizaje.
- Finalizada la explicación previa, resolver cualquier duda del operario.
- Finalmente el operario realiza por sí solo el programa de pick and place desde cero.

Con ello se valida si el diseño de la Urcap, de las instrucciones, los comandos de voz elegidos, la interfaz por voz, así como el procedimiento, son funcionales y cumplen con la expectativa

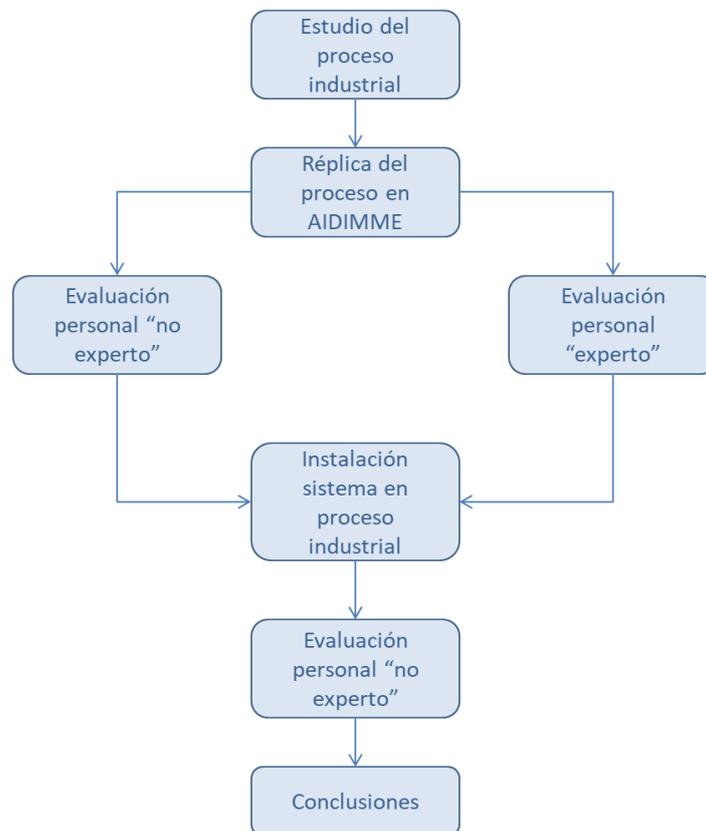
**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

del proyecto de facilitar y agilizar la programación de un robot por personal sin formación específica en esta.

Asimismo, se pide al usuario que realiza la prueba una evaluación del sistema, completando un cuestionario sobre diferentes aspectos del proyecto.

Otra parte del piloto demostrativo, consiste en la validación de los puntos comentados anteriormente, por parte de operarios con conocimientos en programación de robots colaborativos.

Con esta prueba de validación se pretende poner en valor el desarrollo de programación por comandos de voz frente a la programación de la misma aplicación de forma “tradicional”.



Organización de las pruebas de validación.

Fuente: AIDIMME.

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

#### 4.2 Estudio de un proceso industrial de pick & place y réplica en laboratorio

El proceso seleccionado a replicar consiste en la alimentación de una línea de pulimento de piezas planas de la empresa MICUNA.



Zona de alimentación de piezas objeto del piloto.

Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA.

La aplicación consiste en coger una pieza desde un pallet (ubicado sobre un elevador de palet fijo) y posicionarla sobre la cinta transportadora al inicio de la línea. La pieza se encuentra apilada en un pallet situado al lado de cinta transportadora en una posición más adelantada. De tal forma que para situarla en línea hay que realizar un giro de 90 grados de una posición a otra.



Ejemplo de piezas a manipular

Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Para posicionar la pieza en la cinta transportadora de la línea hay que ubicarla en el centro de la cinta, además hay que tener en cuenta la altura de la línea.

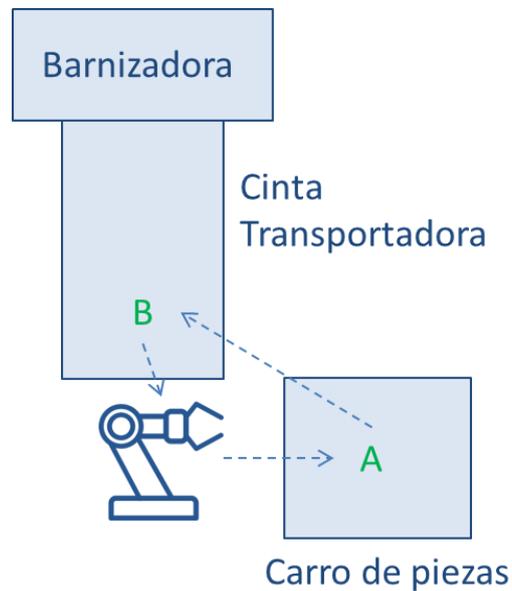
El entorno de trabajo industrial que se desea reproducir cuenta con las dimensiones y espacios mostrados en la siguiente imagen.



Dimensiones a replicar. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA.

Básicamente, se trata de colocar el robot en una posición donde deba coger las piezas a su derecha, y las traslade hasta la cinta transportadora y las deposite, recorriendo un arco de 90 grados, tal y como se muestra en el siguiente esquema.

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Esquema de la configuración física del robot

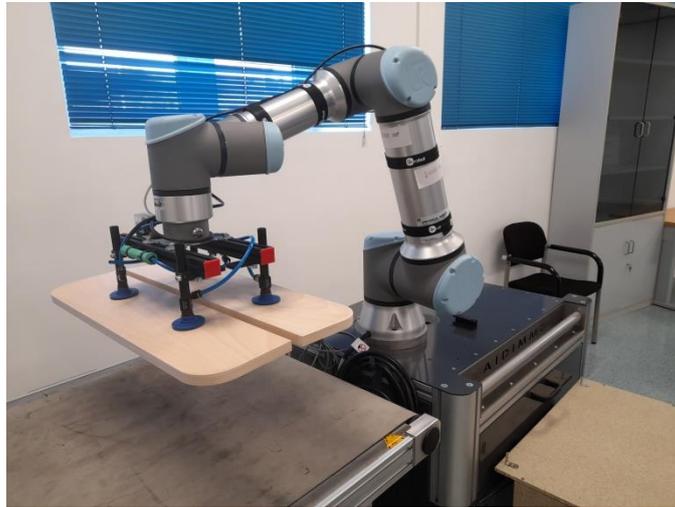
Fuente: AIDIMME.

La empresa ha proporcionado un tipo de pieza para evaluar su posible automatización. Se trata de una pieza de pequeño tamaño, que debe colocarse en la misma línea de pulimento mostrada anteriormente. Pero se requiere que pueda colocarse en la cinta al principio de la línea, varias piezas iguales, y por tanto manipular varias piezas a la vez.



Ejemplos de tipo de pieza 2 a manipular. Fuente: AIDIMME.

“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial



Ejemplo de dos piezas manipuladas de forma simultánea.

Fuente: AIDIMME.

Incluso con un rediseño de la herramienta sería posible mover más de 2 piezas a la vez, ya que el peso de cada unidad es bastante bajo y el tamaño permite manipular varias de una vez.

#### 4.3 Sistema de validación en laboratorio

Para la validación del sistema de programación mediante comandos por voz se ha diseñado un cuestionario, cuyo objetivo es verificar si se cumple el objetivo general del proyecto: disponer de un sistema de programación de robots que haga posible la utilización de los mismos por parte de personal no experto en robots.

Se han diseñado siete preguntas, y todas ellas se valorarán con una escala Likert con puntuaciones de 1 a 5, comparando la forma tradicional de programar un robot UR con el método de programación desarrollado con el proyecto Interbot, siendo:

- 1= **Interbot MUCHO PEOR** que el método de programación tradicional de un robot UR
- 2= **Interbot PEOR** que el método de programación tradicional de un robot UR
- 3= **Interbot IGUAL** que el método de programación tradicional de un robot UR
- 4= **Interbot MEJOR** que el método de programación tradicional de un robot UR
- 5= **Interbot MUCHO MEJOR** que el método de programación tradicional de un robot UR

La valoración se realiza considerando el caso de programar un movimiento de pick & place desde un punto A hasta un punto B.



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Una vez se le ha informado acerca de cómo utilizar INTERBOT, pero antes de programar.

1.- Valore la facilidad para aprender a generar un programa de robot (árbol de programación)
--

Una vez ya ha realizado su primer programa con INTERBOT.

2.- Valore el tiempo requerido para generar un programa de robot
--

3.- Valore la comodidad /ergonomía a la hora de generar un programa de robot
--

4.- Valore si se ha podido programar correctamente el programa deseado (eficacia/fiabilidad del sistema)
--

5.- Valore el feedback del sistema durante el proceso de programación (pantalla Tablet + baliza luminosa)
---

6.- Valore la capacidad del sistema para programar operaciones complejas.
---

7.- Valore la viabilidad del sistema para utilizarse con personal no experto en programación de robots
--

Además, se deja un apartado de texto libre para que el usuario pueda aportar todo tipo de comentarios o sugerencias de tipo cualitativo. Para la realización de las pruebas se organizan dos grupos de usuarios:

- ✓ GRUPO 1: Usuarios “expertos” en programación de robots, formados por personal de AIDIMME y personal de la empresa colaboradora CFZ.
- ✓ GRUPO 2: Usuarios “no expertos” en programación de robots, formados por personal de AIDIMME.

Con el primer grupo, se busca detectar posibles mejoras en el sistema en comparación con los “métodos tradicionales” de programación de robots. En cambio, con los usuarios del segundo grupo se busca una experiencia similar a la de un operario de planta que no ha utilizado nunca un robot.

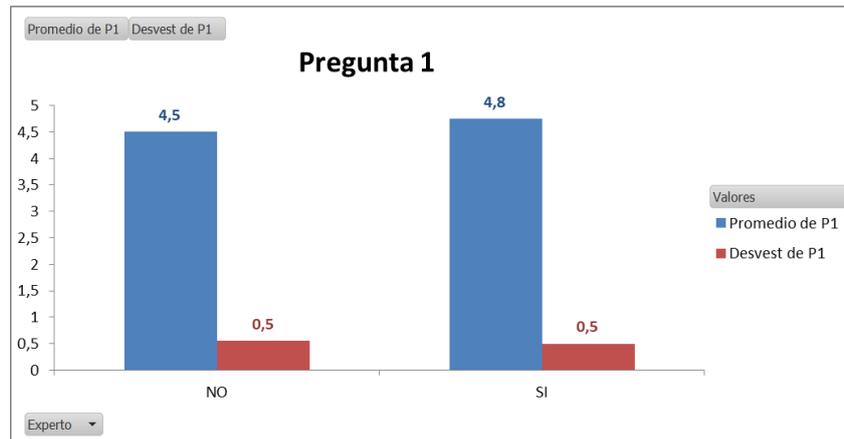
Al personal de ambos grupos se les ofrece una explicación de cinco minutos acerca de como realizar la programación por voz, que comandos utilizar, y donde consultar la ayuda en la URCap desarrollada.

Una vez realizan la prueba, se les pide que rellenen el cuestionario de evaluación para su posterior análisis.

A continuación, se muestra el resultado cuantitativo de las evaluaciones llevadas a cabo mediante una gráfica que representa el promedio y desviación estándar de las respuestas

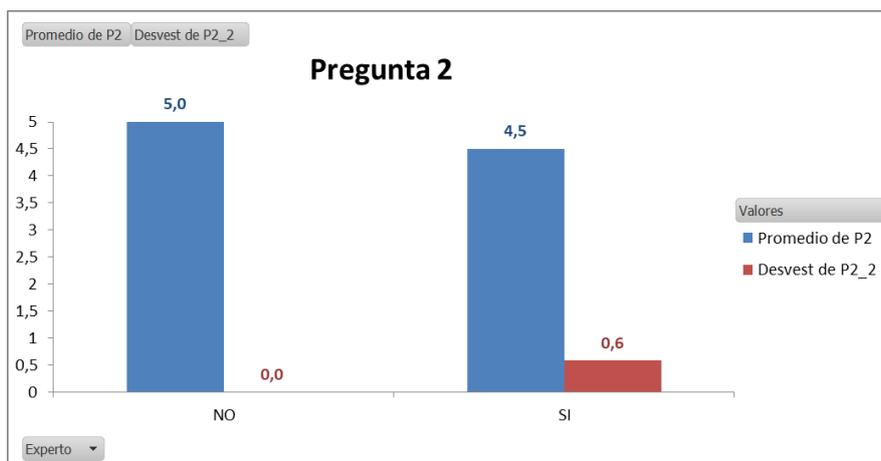
**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

dadas tanto por el personal de AIDIMME experto en programación, como el personal no experto.

**1.- Valore la facilidad para aprender a generar un programa de robot (árbol de programación)**


Respuesta a pregunta 1. Fuente: AIDIMME.

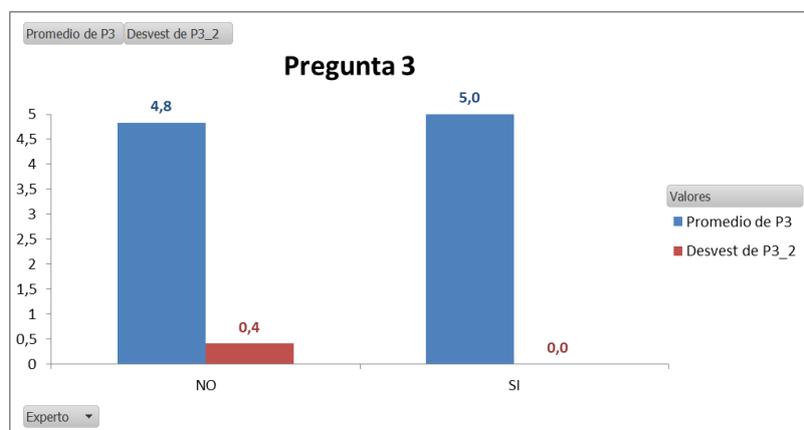
- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 4’5 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 4’8 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma muy positiva la facilidad para aprender a generar un programa de robot mediante el sistema INTERBOT. Esta valoración se realiza antes de comenzar a programar, una vez recibida una explicación inicial de como funciona el sistema desarrollado.

**2.- Valore el tiempo requerido para generar un programa de robot**


Respuesta a pregunta 2. Fuente: AIDIMME.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 5 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 4’5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma muy positiva el tiempo empleado para generar un programa de robot mediante el sistema INTERBOT. En el caso de todos los participantes en las pruebas se pudo realizar un programa de robot para desplazar una pieza de un punto A a un punto B en menos de 5 minutos.

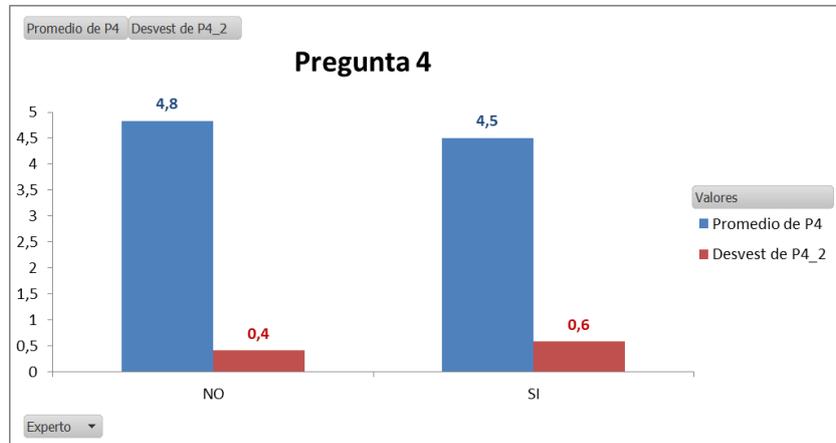
**3.- Valore la comodidad /ergonomía a la hora de generar un programa de robot**


Respuesta a pregunta 3. Fuente: AIDIMME.

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 4’8 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma muy positiva la comodidad a la hora para generar un programa de robot mediante el sistema INTERBOT. El hecho de disponer de un pulsador que activa el “movimiento libre o freedrive” en el propio cabezal del robot, hace que no haya que sujetar continuamente la tablet del robot, y que sea bastante cómodo grabar los diferentes puntos de paso a programar con las manos libres.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

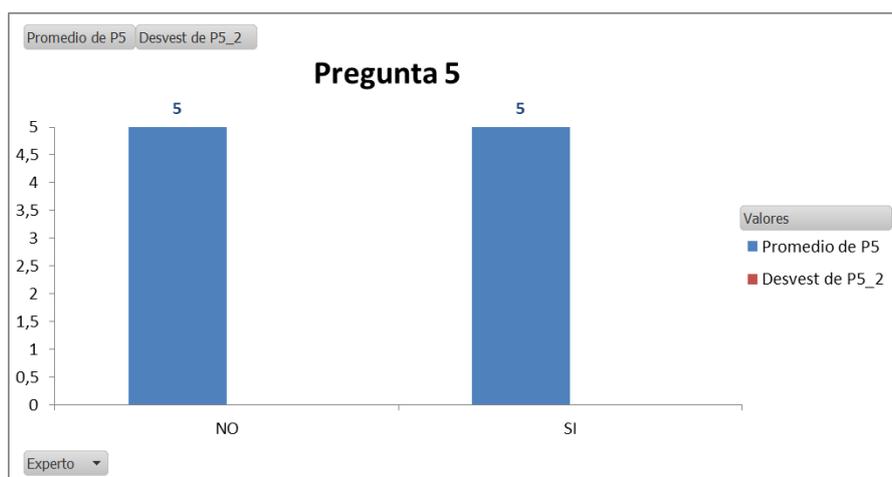
4.- Valore si se ha podido programar correctamente el programa deseado (eficacia/fiabilidad del sistema)



Respuesta a pregunta 4. Fuente: AIDIMME.

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto”-en programación el promedio es de 4’8 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 4’5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma muy positiva la fiabilidad a la hora para generar un programa de robot mediante el sistema INTERBOT. Los árboles de programación desarrollados por los usuarios durante las pruebas han ejecutado los movimientos y acciones deseados previamente.

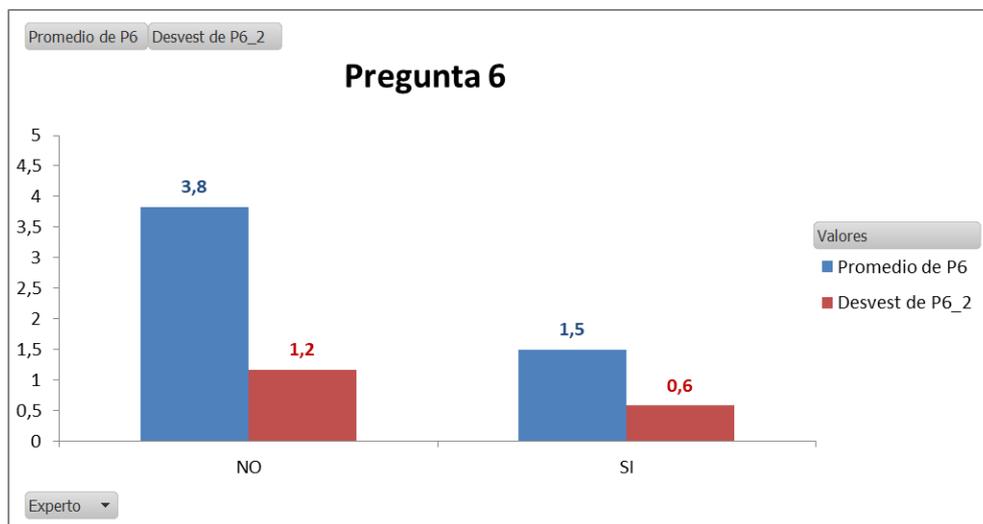
5.- Valore el feedback del sistema durante el proceso de programación (pantalla Tablet + baliza luminosa)



Respuesta a pregunta 5. Fuente: AIDIMME.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 5 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma totalmente positiva el feedback proporcionado por el sistema a la hora para generar un programa de robot mediante INTERBOT. El hecho de disponer la baliza luminosa ha dado seguridad a los usuarios a la hora de saber si las instrucciones programadas habían sido transferidas satisfactoriamente al controlador del robot.

**6.- Valore la capacidad del sistema para programar operaciones complejas.**


Respuesta a pregunta 6. Fuente: AIDIMME.

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 3’8 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 1’5 sobre 5.
- ✓ El sistema desarrollado con el presente proyecto está preparado para realizar operaciones de “pick & place” (movimiento de piezas de un punto a otro). Si se quisiera realizar operaciones mas complejas como un paletizado de varias capas, con diferentes configuraciones de mosaico, la cantidad de puntos a programar sería muy alta.
- ✓ Existen en la actualidad, plantillas y URCaps que minimizan la programación a la hora de realizar este tipo de operaciones más complejas. Los usuarios “expertos” en programación de robots conocen este tipo de herramientas, y por ello, valoran con menor puntuación este aspecto, que los usuarios “no expertos” en programación de robots.
- ✓ Para hacer útil el sistema INTERBOT en este tipo de aplicaciones complejas, habría que desarrollar plantillas de programación, a partir de nuevos comandos de voz específicos, además de resolver el problema de la cinemática directa e inversa del robot, para poder replicar los mismos movimientos pero sobre capas diferentes (altura en el eje z diferentes).



**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

7.- Valore la viabilidad del sistema para utilizarse con personal no experto en programación de robots

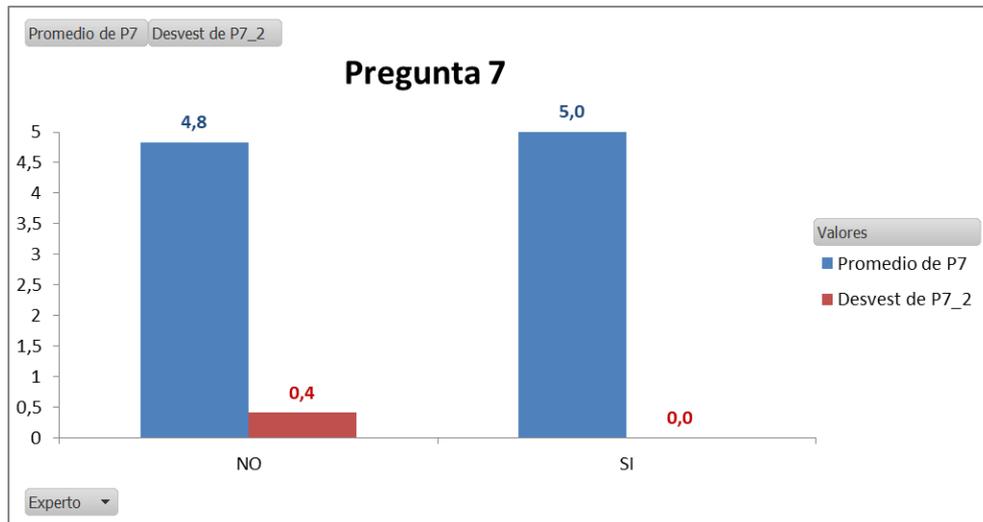


Figura 5: Respuesta a pregunta 7

Fuente: AIDIMME.

- ✓ Dentro del grupo de personal “No experto” en programación el promedio es de 4’8 sobre 5. En el grupo de personal catalogado como “Experto” en programación de robots el promedio es de 5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma totalmente positiva el sistema INTERBOT para ser empleado por personal no experto en programación, que es el objetivo básico del proyecto.

### Análisis cualitativo

#### Personal “experto en programación”

El grupo de evaluadores “expertos” en programación centró su análisis en detectar posibles mejoras para que el sistema se pudiera utilizar de forma amplia y funcional como alternativa a los sistemas de programación “tradicionales” por parte de personal “sin conocimientos” de programación.

De forma general, todos han destacado los buenos resultados alcanzados con el proyecto.

- ✓ “Gran trabajo. Va muy bien”  
Una de las recomendaciones es la habilitación de transiciones de movimiento entre puntos con un radio, para que el movimiento sea más suave y orgánico, y los servomotores del robot no tengan que realizar frenazos bruscos.
- ✓ “Habilitar transiciones con radio entre movimientos”



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

### “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

Tal y como está configurado el sistema, el radio de giro entre movimiento es único para todos los comandos “GRABAR” y “APROXIMAR”. Puede ser editado, pero no mediante comandos de voz, sino de forma manual, sobre la Tablet del robot.

Otros comentarios se han centrado en mejorar la parte visual y de comprensión del funcionamiento del sistema, proponiendo además de la baliza luminosa, un indicador acústico que muestre que el comando verbalizado se ha transmitido correctamente. Además, añadir de forma impresa los comandos que pueden ser verbalizados junto al pulsador desarrollado en el cabezal del robot.

- ✓ “Añadir ayuda auditiva”
- ✓ “Añadir en la zona del cabezal las palabras clave”  
Además, se aporta la idea de tener un comando para alinear la posición capturada de un punto con el plano de trabajo donde se ubica la pieza.
- ✓ “Poder alinear el robot a la hora de coger las piezas”

#### Personal “no experto en programación”

De forma general, los participantes en las pruebas se sintieron muy cómodos realizan por primera un programa de robot. Algunos de los comentarios recibidos fueron en este sentido.

- ✓ “Experiencia muy gratificante”
- ✓ “Sin tener conocimientos de programación me ha resultado muy fácil hacerlo”  
En cuanto a posibles mejoras, en línea con las mejoras planteadas por los usuarios “expertos en programación de robots”, algunas de ellas se centraban en disponer de nuevos comandos de voz, con los que se pudieran programar acciones mas completas que el movimiento a un punto determinado, o la activación (desactivación) de la herramienta de agarre.
- ✓ Sería deseable “meter varias acciones con un solo comando de voz”
- ✓ “Posibilidad de agregar trayectorias predefinidas al comando de voz”  
Otros comentarios fueron dedicados al hardware adquirido para la transmisión inalámbrica del sonido desde el micrófono hasta la Raspberry Pi.
- ✓ Disponer de mayor “distancia de comunicación” entre el transmisor del micrófono y el receptor.
- ✓ “Mejorar el indicador de la autonomía de la batería de los transmisores inalámbricos”

#### 4.4 El problema de la cinemática inversa

Fruto de las validaciones realizadas tanto con el grupo de usuarios “expertos”, como el de “no expertos” en programación de robots, han surgido una serie de propuestas de mejora relacionadas con la de realización de movimientos complejos asociados a nuevos comandos verbales:

- ✓ Alinear la posición del cabezal del robot con el plano de trabajo.



**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

- ✓ Asociar trayectorias predefinidas a un comando de voz
- ✓ Asociar varias acciones o movimientos a un solo comando de voz.

Además de estas propuestas, los “usuarios expertos” en programación de robots ha destacado en la pregunta número 6 la “debilidad” del sistema para programar de forma sencilla aplicaciones complejas como un apilado de piezas, o un paletizado /despaletizado de paquetes.

Por ejemplo, si se quisiera desarrollar un programa para apilar cinco piezas iguales, se debería llevar manualmente el robot a la posición de cada una de las piezas y activa el comando “GRABAR” las cinco veces. Si lo que se desea apilar en vez de cinco piezas son muchas más (por ejemplo cien), la programación se puede volver muy incómoda y tediosa.

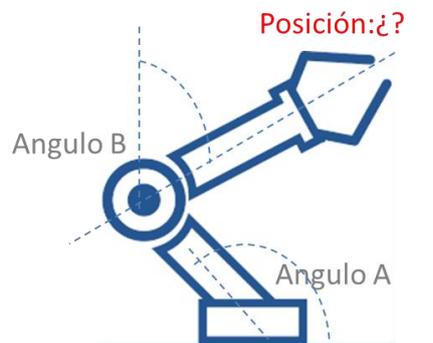
La solución ideal sería desarrollar una plantilla de programación para ese tipo de aplicación donde se utilizara el comando “GRABAR” una sola vez en la base, y se indicara el espesor de la pieza, y el controlador del robot calculara la posición en el eje z, de cada una de las piezas iguales a apilar.

De esta forma, en este tipo de aplicaciones complejas se simplificaría mucho la interacción del usuario con el sistema durante la programación. Sin embargo, para poder avanzar en este sentido hay que resolver primero el denominado “problema de la cinemática directa e inversa”, ya que el SDK de desarrollo de Universal Robots (robot utilizado en este proyecto) no ofrece información cinemática del robot que permita el tipo de cálculos necesarios para el desarrollo de este tipo de aplicaciones.

#### Definición del problema

Supongamos un brazo robótico con dos articulaciones como el de la figura inferior. El usuario de INTERBOT pulsa el botón de la brida para liberar el robot y colocar la herramienta de trabajo en una determinada posición, y a continuación emite el comando “GRABAR” para programar un movimiento a dicha posición.

Lo que se manda al controlador, no es la posición  $\{x, y, z\}$  del cabezal del robot, sino la posición angular (en radianes). Se cada una de sus articulaciones. El SDK del robot no dispone de ninguna función para calcular las coordenadas  $\{x, y, z\}$  del cabezal del robot. Se trata por tanto, de información que es opaca al desarrollador de URCaps.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**


Ángulos de articulaciones y coordenadas del cabezal del robot

Fuente: AIDIMME, modificada a partir de flaticon.es

Para poder desarrollar URCaps como el apilado, despaletizado, alineación respecto del plano de trabajo, se debe de conocer las coordenadas del punto en el que el usuario ha colocado el cabezal del robot  $\{x, y, z\}$ , para posteriormente generar de forma automática nuevas posiciones donde lo que se hace es modificar el valor del eje z una misma cantidad (ya que todas las piezas a apilar son iguales).

Esto implica, en primer lugar, resolver el denominado problema de la cinemática directa. Es decir, a partir de las posiciones angulares de todas y cada una de las articulaciones del robot (dato que si puede ser obtenido actualmente), calcular cuales son las coordenadas de posición del cabezal.



Resolución problema de cinemática directa

Fuente: AIDIMME, modificada a partir de flaticon.es

En segundo lugar, si se desea mandar al robot a una posición  $\{x, y, z\}$  del cabezal (disminuyendo el valor en el eje z, por ejemplo), se debe de resolver el denominado “problema de la cinemática inversa”. En este problema, dada una posición deseada del cabezal del robot (coordenadas  $\{x, y, z\}$ ), se debe de calcular la posición angular de cada una de las articulaciones del robot, que permiten alcanzar dicha posición. Este problema es más


**GENERALITAT**  
**VALENCIANA**
**IVACE**  
 INSTITUTO VALENCIANO DE  
 COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

**Cofinanciado por**  
**la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

complejo de resolver, ya que pueden existir diferentes combinaciones de posiciones angulares que converjan en la misma posición de la herramienta.

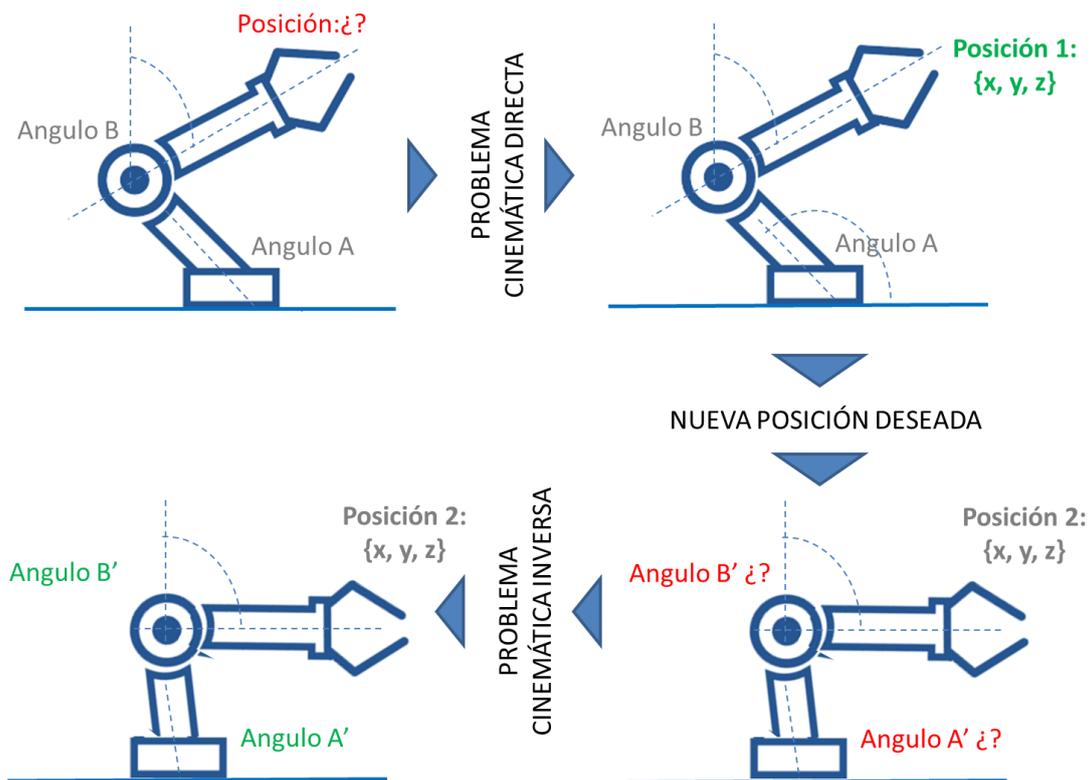


Figura 6: Resolución problema de cinemática directa e inversa

Fuente: AIDIMME, modificada a partir de flaticon.es

Una vez se dispone de una solución con los valores de las posiciones angulares correctas para alcanzar la nueva posición deseada, se puede transferir dicha información al controlador del robot para que se posicione en dicho punto, sin haber tenido que colocarlo previamente en dicha posición.

Por tanto, para poder aplicar el desarrollo de INTERBOT en aplicaciones complejas como el apilado, paletizado / despaletizado, o alineación del cabezal, se debe de resolver el problema matemático de la cinemática directa e inversa del robot empleado en el proyecto.

Para la resolución del problema descrito en el apartado anterior se ha contado con la colaboración del Instituto de Automática e Informática Industrial (Ai2) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), dada su experiencia y conocimiento en el ámbito de la robótica industrial.

## “INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial

A partir de la problemática planteada por AIDIMME, especificando el modelo de robot empleado en el proyecto y las limitaciones identificadas en el SDK para el desarrollo de una URCap, el trabajo realizado por Ai2 para resolver el problema de la cinemática directa e inversa se ha traducido en una serie de archivos y pruebas desarrolladas exprofeso para esta aplicación.

Los desarrollos llevados a cabo dentro del proyecto Interbot se han alineado con el objetivo de desarrollar interfaces HMI de programación de robots sencilla e intuitiva, que permitan a personal no familiarizado con la robótica, generar programas de robot para diferentes procesos industriales. En la definición del proyecto, el proceso industrial sobre el que se decidió focalizar los desarrollos fue la manipulación de piezas entre dos puntos (proceso conocido comúnmente como “Pick & Place”).

Se ha comprobado con las validaciones llevadas a cabo en las instalaciones de AIDIMME como se ha logrado el objetivo para dicha tipología de proceso. Como posibles mejoras o líneas de trabajo a futuro se han procesos mas complejos como el apilado de piezas o el paletizado en los que la programación por voz tendría cabida, pudiendo simplificar en gran medida el tiempo y complejidad de generar un programa de robot.

Con las herramientas de desarrollo del robot disponibles al principio del proyecto (SDK de Universal Robots) era imposible acometer este tipo de aplicaciones. Una vez resuelto matemáticamente el problema de la cinemática directa e inversa se está en condiciones de abordar nuevas líneas de investigación en el desarrollo de interfaces HMI para la tipología de procesos industriales mencionada.

Así pues, con el presente proyecto se ha conseguido desarrollar una HMI para el proceso de Pick & place, pero también se ha resuelto una problemática teórica para poder desarrollar aplicaciones para procesos más complejos.

### 4.5 Sistema de validación en un entorno industrial

Se realiza el piloto en la empresa colaboradora MICUNA, donde personal sin conocimientos en programación de robot, tras las explicaciones pertinentes indicadas en el apartado 1 de este entregable, realiza la programación del robot para la pieza y aplicación ya estudiada.

Primero se explica el funcionamiento del sistema y sus componentes (sistema de voz y robot), y el objetivo de la prueba a realizar. A continuación, realizan de forma autónoma un programa de robot para desplazar una pieza desde un punto A hasta un punto B. Tras la prueba, se pide una evaluación del sistema (de forma similar a la realizada con el personal de AIDIMME) mediante una serie de cuestiones.

Todas las preguntas se valorarán con una escala Likert con puntuaciones de 1 a 5, siendo:

1= **TOTALMENTE EN DESACUERDO** con la afirmación

2= **ALGO EN DESACUERDO** con la afirmación



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

3= **NEUTRAL** con la afirmación

4= **ALGO DE ACUERDO** con la afirmación

5= **TOTALMENTE DE ACUERDO** con la afirmación

La valoración se realiza considerando el caso de programar un movimiento de pick & place desde un punto A hasta un punto B.

Una vez se le ha informado acerca de cómo utilizar INTERBOT, pero antes de programar.

1.- Aprender a generar un programa de robot (árbol de programación) con el sistema Interbot es fácil
--

Una vez ya se ha realizado su primer programa con INTERBOT.

2.- Se ha podido generar un programa de robot en un tiempo reducido
---

3.- Se ha podido generar un programa de robot de forma cómoda y ergonómica
--

4.- Se ha podido programar correctamente el programa deseado (eficacia/fiabilidad del sistema)
--

5.- El feedback del sistema Interbot durante el proceso de programación (pantalla Tablet + baliza luminosa) ha sido útil para poder programar correctamente
---

6.- Con el sistema Interbot puedo programar operaciones/movimientos complejos
---

7.- El sistema Interbot permite programar robot por personal no experto en programación de robots
---

También se incluye en el cuestionario un apartado para que el operario realice comentarios o sugerencias sobre el sistema de programación.

Por parte del personal de AIDIMME se llevó a cabo la instalación del robot UR16 utilizado en las pruebas previas, en la zona de pulimento donde se quería testar.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Figura 7: Proceso de instalación del robot para la prueba piloto en MICUNA. Fuente: fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA

Se realizaron pruebas iniciales para comprobar que el robot era capaz de trabajar en una aplicación donde debería alimentar de piezas a la línea de barnizado. Tras la configuración inicial, se detectó que el modelo de robot utilizado no alcanzaba a coger las piezas desde la zona del elevador fijo hasta la cinta transportadora. Si se ubicaba más cerca del elevador, no alcanzaba a dejar las piezas en la cinta transportadora. Si, al contrario, se centraba para poder ubicar piezas en la cinta transportadora, el brazo robot no llegaba por varios centímetros a la posición del elevador de palets, tal y como se observa en la siguiente fotografía.



Máximo alcance del robot en la zona de pulimento. Fuente: fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

Para solventar esta situación, se cambia la configuración del robot y el palet se pone mas cerca (fuera del elevador de palets). Al no disponer de la funcionalidad del elevador de palets, se ha trabajado solo con el nivel superior de la pila de piezas para realizar las pruebas.

Una vez finalizada la instalación y las pruebas previas, se explicó al operario de la línea de pulimento el funcionamiento del sistema y como realizar un programa de robot mediante la programación por voz del sistema INTERBOT.

Posteriormente, el operario realizó diferentes programas de robot para coger las piezas desde la pila y posicionarlas sobre la cinta transportadora. Al principio se realizaron las pruebas con la cinta transportadora parada y luego en marcha, ajustando la velocidad de trabajo del robot para verificar si se podía alcanzar un ciclo de trabajo similar al del habitual de la línea.



Proceso de programación del robot con el sistema INTERBOT. Fuente: fotografía tomada por AIDIMME en MICUNA

**Resultados de las pruebas**

En la siguiente gráfica se muestra el resultado de la valoración del personal de MICUNA que ha utilizado la aplicación INTERBOT.

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

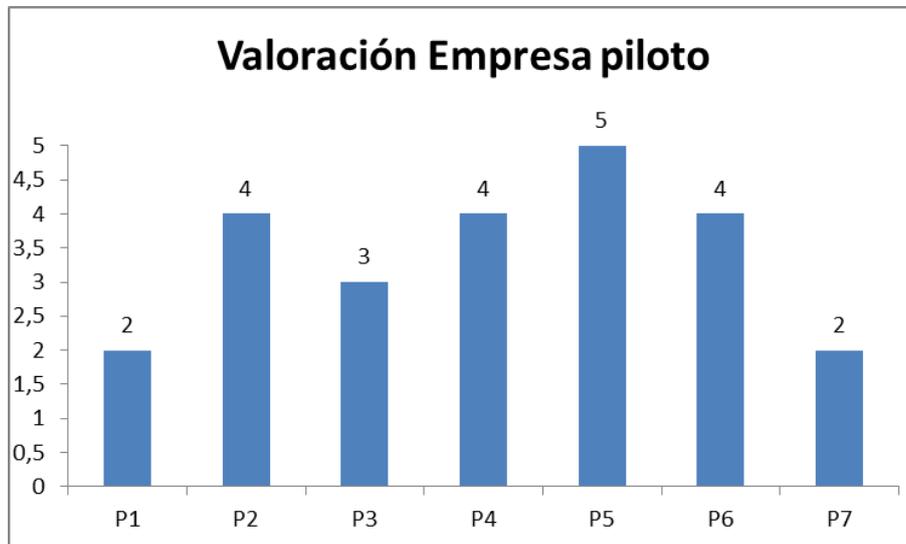


Figura 8: Resultado de la evaluación llevada a cabo en MICUNA.

Fuente: AIDIMME a partir de datos tomados en MICUNA

*1.- Valore la facilidad para aprender a generar un programa de robot (árbol de programación)*

- ✓ La valoración de facilidad de programación ha sido de 2 sobre 5.
- ✓ Esta valoración se realiza antes de programar. Dado el operario no había utilizado nunca un robot, la explicación de 5-10 minutos ofrecida antes de comenzar a utilizar el sistema se le antojaba demasiado breve y le ofrecía inseguridad a la hora de programar correctamente de forma autónoma.

*2.- Valore el tiempo requerido para generar un programa de robot*

- ✓ La valoración del tiempo requerido para realizar un programa de robot ha sido de 4 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma muy positiva el tiempo empleado para generar un programa de robot mediante el sistema INTERBOT. El tiempo empleado para realizar un programa ha sido de una media inferior a 5 minutos.

*3.- Valore la comodidad /ergonomía a la hora de generar un programa de robot*

- ✓ La valoración de la ergonomía para realizar un programa de robot ha sido de 3 sobre 5.
- ✓ El operario considera que la forma de programar fomenta la ergonomía. Sin embargo, en el caso particular donde se ha realizado la prueba, el elevador del palet molestaba a la hora de agarrar el cabezal del robot y por eso la evaluación realizada no ha sido mas favorable. Este es un factor externo al sistema INTERBOT.



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por  
la Unión Europea**

**“INTERBOT” - Desarrollo de una interfaz hmi para la programación de robots mediante comandos verbales y visión artificial**

*4.- Valore si se ha podido programar correctamente el programa deseado (eficacia/fiabilidad del sistema)*

- ✓ La valoración de la eficacia a la hora realizar un programa de robot ha sido de 4 sobre 5.
- ✓ El operario ha podido comprobar como el programa recogía las piezas de la pila y las colocaba en la cinta transportadora, tal y como se deseaba antes de realizar la programación.

*5.- Valore el feedback del sistema durante el proceso de programación (pantalla Tablet + baliza luminosa)*

- ✓ La valoración del feedback del sistema a la hora de realizar un programa de robot ha sido de 5 sobre 5.
- ✓ Por tanto, se ha valorado de forma totalmente positiva el feedback proporcionado por el sistema a la hora para generar un programa de robot mediante INTERBOT.

*6.- Valore la capacidad del sistema para programar operaciones complejas.*

- ✓ La valoración la capacidad del sistema para realizar un programa de robot complejo ha sido de 4 sobre 5.
- ✓ En este caso la valoración ha sido mucho mas positiva que la del personal propio de AIDIMME o de la empresa colaboradora CFZ (especialmente en el caso del personal “experto” en programación de robots).
- ✓ El operario ha centrado su opinión en la actividad de alimentación de piezas a la línea, y ha considerado que para sus necesidades era suficiente.
- ✓ En el caso del personal “experto” en programación de robots, conocen otros problemas y aplicaciones para las que habría que mejorar el sistema, y de ahí la diferencia de valoraciones.

*7.- Valore la viabilidad del sistema para utilizarse con personal no experto en programación de robots*

- ✓ La valoración de la viabilidad del sistema para utilizarse con personal no experto ha sido de 2 sobre 5.
- ✓ El operario considera que requería de mayor formación acerca del funcionamiento general de un robot y del sistema INTERBOT en particular para ser utilizado de forma habitual y autónoma.

A nivel cualitativo, el personal de MICUNA ha indicado que requería de mayor formación y práctica para poder utilizar de forma habitual.

- ✓ “Haría falta más práctica”
- ✓ Hay que “conocer el funcionamiento general del robot primero”