

# DESARROLLO DE UNA VERSIÓN DE BAJO COSTE DEL ROBOT SOCIAL MINI

Carlos M. Gómez, Carlos Juan-de-Dios, José Carlos Castillo, Alvaro Castro-González,  
Fernando Alonso-Martín, María Malfaz, Marcos Maroto-Gómez, Miguel A. Salichs  
Roboticslab, Universidad Carlos III de Madrid  
{cagomezj,cjuandio,jocastil,acgonzal,famartin,mmalfaz,marmarot,salichs}@ing.uc3m.es

## Resumen

*En este documento se describen las consideraciones tomadas en el proceso de construcción de una versión de bajo coste del robot social Mini, desarrollado por el grupo de investigación Robotics-Lab para trabajar con personas mayores. En la versión de bajo coste del robot, se ha intentado en todo momento conservar las funcionalidades del original, e incluso aumentarlas en la medida de lo posible. Se explicará de manera general qué elementos Hardware debe incluir un robot de este tipo para su correcto funcionamiento. También se muestra el diseño del nuevo robot y finalmente se detalla cómo se ha logrado reducir el coste material del mismo por encima de un 80 %.*

**Palabras clave:** Robótica social; Robot de bajo coste; Interacción Humano-Robot.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata de optimizar el coste de una plataforma ya existente, el robot Mini [1], conservando sus funcionalidades. El objetivo principal del robot Mini es el de ayudar a las personas de avanzada edad, realizando, entre otras tareas, ejercicios de estimulación cognitiva. Para ello, se incluye a personal cualificado, como terapeutas. Además, el robot Mini actúa como plataforma de entretenimiento y como asistente personal.

Mini, al ser un prototipo de laboratorio, se diseñó sin restricciones de coste, con el objetivo principal de que tuviera capacidad suficiente para poder hacer desarrollos Software (SW) y Hardware (HW) sin demasiadas limitaciones. Sin embargo, apareció la necesidad de realizar un robot de bajo coste, es decir, sustituyendo sus componentes por aquellos semejantes que permitieran reducir el coste al máximo, pero que mantuviera compatibilidad con todo el desarrollo SW realizado en Mini y capacidad suficiente para mantener las funcionalidades implementadas. Por otro lado, al empezar el robot desde cero, surge la posibilidad de mejorar y rediseñar diversos componentes y funciones.

De esta forma, el nuevo robot, Milow, nace con los tres requisitos previamente expuestos: i) Reducir

lo máximo posible el coste; ii) Mantener compatibilidad SW; iii) Mejorar y añadir funcionalidades.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: La Sección 2 realiza una revisión de robots sociales actuales. En las secciones 3, 4 y 5 se analizan los distintos componentes que conforman el robot organizados en unidades de procesamiento, actuadores y sensores respectivamente. En la sección 6 se expone el diseño del robot y, por último, en la sección 7 se concluye con el aspecto económico. En el presente documento se abordan únicamente el diseño y el ensamblado de todos los componentes que el robot incorpora, sin hacer referencia a las funcionalidades derivadas de ellos.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El punto de partida de este trabajo es el robot Mini. Mini es un robot social de sobremesa diseñado para la interacción con usuarios de edad avanzada que pueden presentar cierto grado de deterioro cognitivo, realizando juegos y actividades que requieran algún tipo de actividad para ejercitar la mente. A diferencia de otros robots sociales de menor tamaño, como Jibo<sup>1</sup>, Mini realiza todo el procesamiento de datos en el propio robot. Gracias a esto no necesita el uso de una "nube" para interactuar con los usuarios, evitando depender del estado de servidores externos que puedan interferir en el uso básico del robot. Las capacidades de las que dispone Mini se centran en la comunicación verbal y no verbal con el usuario. Para realizar el segundo tipo de interacción hace uso de luces, pantallas y movimientos simples de sus articulaciones.

También existen otros robots sociales enfocados al mismo tipo de usuarios. Un ejemplo de ellos es Paro [2], que prioriza la interacción afectiva sobre la cognitiva cuidando, en consecuencia, el aspecto externo, dotando al robot de una apariencia y comportamiento animal. Basándose en este mismo principio, la superficie del robot Mini está cubierta por un material que recuerda al pelaje de un animal.

Otros ejemplos de robots sociales empleados con

<sup>1</sup><https://www.jibo.com>

el mismo fin son Mylo<sup>2</sup> y Elli-Q<sup>3</sup>. El primero de ellos es un robot móvil destinado al cuidado y vigilancia de personas de edad avanzada. El segundo es un robot de sobremesa, como Mini, destinado a entretener a sus usuarios y a facilitar su comunicación con el entorno y con otros usuarios. Por último, al igual que ocurre con el robot Cozmo [3], excluyendo los movimientos de partes físicas, Mini utiliza principalmente la forma de los ojos para expresar distintas emociones.

### 3. COMPONENTES DEL ROBOT DE BAJO COSTE: PROCESAMIENTO

Esta sección detalla los componentes que realizan el procesamiento y la conexión con los distintos sensores y actuadores que se proponen para Milow. La Figura 1 muestra la distribución general de los principales componentes electrónicos del robot.

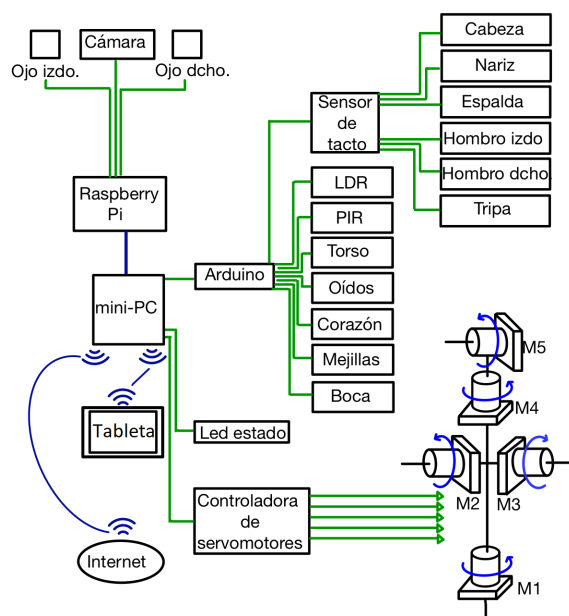


Figura 1: Esquema de bloques de componentes.

#### 3.1. MINI-PC

El componente encargado de ejecutar la mayor parte de las aplicaciones del robot y que tendrá la mayor carga computacional es un mini-PC. Este tipo de dispositivo dispone de todas las funcionalidades que poseen las placas base estándar de ordenador (PC), diferenciándose de éstas en ocupar un tamaño más reducido.

Los factores que han determinado el modelo escogido son: i) La *arquitectura del procesador* siendo

<sup>2</sup><https://www.heylo.com>

<sup>3</sup><https://elliq.com>

en este caso *x86-64* prioritario sobre arquitecturas *ARM*; ii) La posibilidad de *alimentación* a un nivel de 12V; iii) Compatibilidad con el *sistema operativo Linux*; iv) La disposición de puertos de *comunicaciones* Ethernet, USB, audio y la incorporación de tarjeta de Red WiFi.

Cabe señalar que dentro de dicho sistema operativo, al igual que en Mini, se utiliza el middleware de desarrollo y comunicación ROS [4]. En lo que a Hardware se refiere, esto supone una ventaja al poder utilizar computación distribuida en varios dispositivos simultáneamente.

Además, como característica especial del modelo seleccionado, el mini-PC dispone de un anillo de luz LED RGB programable por Software. Conjuntamente a éste, incluye otro LED RGB, controlado también por SW, ubicado en el botón de encendido y que actualmente proporciona información acerca de si el robot está encendido o no.

#### 3.2. RASPBERRY PI

Se hace uso de una Raspberry Pi como una segunda unidad de procesamiento. Dicha placa permite liberar de carga computacional al mini-PC, así como controlar y conectar elementos Hardware. En concreto, tiene dos funciones principales en este robot.

En primer lugar, la Raspberry se emplea para controlar los ojos del robot, descritos en la Sección 4.1. Para ello, necesita estar conectada con el mini-PC (por ejemplo via Ethernet o Wifi) donde se ejecuta el master de ROS, encargado de realizar la comunicación y determinar cómo se deben generar los ojos. Con esta información, la Raspberry renderiza la apariencia de los ojos en tiempo real, lo que supone un coste computacional considerable al mantenerse en un proceso continuo. Esto se debe a que, a diferencia de Mini, la apariencia de los ojos no está predefinida mediante GIFs animados, sino mediante el cambio continuo de formas y colores, lo que aumenta la variabilidad de apariencias en los ojos y por lo tanto la expresividad del robot.

En segundo lugar, se hace uso de la Raspberry para incorporar la cámara al robot. El motivo principal es la simplicidad de incorporar dicho elemento a la Raspberry. Además, la placa en cuestión permite realizar un procesamiento básico de la imagen liberando de ello al mini-PC.

#### 3.3. ARDUINO

Para poder controlar los actuadores y adquirir datos de los sensores se integra en el robot un microcontrolador Arduino comunicado mediante proto-

colo serie al mini-PC, más concretamente con *ros-serial* [5]. La principal ventaja del uso de este protocolo es la capacidad de tratar al microcontrolador como un nodo más de ROS, pudiendo utilizar paso de mensajes directos (publicadores y suscriptores) y servicios o clientes entre el Arduino y el mini-PC.

A la hora de usar este tipo de componentes, el principal contratiempo radica en que no disponen de ejecución en paralelo. Por ello, la metodología de programación debe basarse en una estructura que realiza una comprobación y acción determinada en cada iteración del bucle de ejecución, incluida aquella encargada de comprobar la comunicación con el mini-PC. Para mitigar dicho inconveniente, se han usado interrupciones internas y externas reduciendo el tiempo de bucle y aumentando la frecuencia de acción.

### 3.4. CONTROLADOR DE LOS MOTORES

Milow implementa unas articulaciones sencillas, pero suficientes para conseguir una expresividad natural. Estos movimientos, aunque no son totalmente precisos, permiten que el usuario perciba al robot social como un ser vivo.

El componente encargado de controlar dichas extremidades es un microcontrolador capaz de generar una señal cuadrada estándar de control de servomotores (PWM) variando su ciclo de trabajo y frecuencia. La controladora escogida se comunica por protocolo serie con un nodo de ROS ejecutado en el mini-PC del que recibe los parámetros de movimiento para cada uno de los grados de libertad (velocidad, aceleración y posición objetivo).

Dado que la señal recibida por la mayoría de servomotores del tipo propuesto para Milow (ver sección 4.3) está relacionada directamente con el ángulo objetivo, internamente se realiza un control en posición para mover las articulaciones. Este control además permite variar la velocidad y aceleración de los movimientos. La capacidad de control de la aceleración es determinante para realizar movimientos suaves y fluidos en el robot social, realizando aceleraciones y deceleraciones en el inicio y fin del recorrido.

## 4. COMPONENTES DEL ROBOT DE BAJO COSTE: ACTUADORES

En este apartado se describen los distintos actuadores de los que dispone el robot, que son todos los elementos sobre los que tiene capacidad de acción, ya sea un movimiento mecánico o una acción

visual o auditiva. El principal objetivo de los actuadores que dispone el robot es dotarlo de expresividad y de facilitar la interacción con el usuario.

La expresividad para un robot social es uno de los aspectos más importantes, porque es lo que permite que el usuario sea capaz de concebir al robot como un ser vivo con quien pueda empatizar y sentir afecto. Para ello, Milow, del mismo modo que Mini, dispone principalmente de pantallas para los ojos con los que es capaz de mostrar expresiones. Pero además de ello, la expresividad se complementa con los distintos actuadores, como son los diversos LEDs que representan partes del robot, los motores que permiten mover las articulaciones y extremidades del mismo y el altavoz con el que es capaz, no solo de hablar, sino de acompañar su estado con sonidos no verbales. Para realizar la interacción, el robot emplea todos los componentes que generan la expresividad, especialmente el altavoz por el que habla y la tableta en la que muestra contenido multimedia.

### 4.1. PANTALLAS PARA LOS OJOS

Los ojos son, posiblemente, el punto más importante para conseguir expresividad en el robot. Una prueba de ello es que es el elemento facial con más presencia en los robots sociales [6]. Así como, por ejemplo, los motores y los LEDs aportan vivacidad al robot, es mediante los ojos como el robot es capaz de mostrar expresiones y generar una mayor simpatía por parte del usuario.

Teniendo en primer lugar el objetivo de reducir costes con respecto a Mini, se cambian tanto las pantallas de los ojos como la controladora, sustituida por la Raspberry. Esto produce la necesidad de crear unos nuevos ojos para el robot basados en los originales, pero que puedan disponer de mayor cantidad de opciones.

En primer lugar se permite modificar los ojos a gusto del usuario, de tal forma que éste pueda ser capaz de elegir el tipo y color de los ojos según sus preferencias. En segundo lugar, se busca que se puedan controlar gran cantidad de opciones y parámetros de los ojos. En concreto, se permite el control de los siguientes aspectos: i) *Expresividad de los ojos*. Para que el robot pueda mostrar alegría, enfado, tristeza, sorpresa, nerviosismo, sospecha, etc; ii) *Forma y tamaño de la pupila*. Para poder transmitir efectos concretos y jugar con el tamaño de la pupila de acuerdo a la expresión; iii) *Posición del ojo*. Permite mirar en una dirección determinada o moverse aleatoriamente; iv) *Velocidad y frecuencia de parpadeo*. Con el objetivo de matizar y acompañar las expresiones; y v) *Apariencia estética*. Permite controlar el color de los párpados, esclerótica e iris de los ojos.

## 4.2. LUCES LED

En la nueva versión del robot se han añadido LEDs y mejorado algunos de los ya incorporados en Mini ya que, a pesar de aumentar ligeramente el coste del robot, mejoran la expresividad del mismo. De tal forma, los diferentes LEDs de los que dispone la versión de bajo coste son los siguientes: i) *Boca*. Para emular la boca, se dispone de una fila de ocho LEDs que se encienden en función de la intensidad de la voz del robot. ii) *Mejillas*. En el rostro se dispone de una pareja de LEDs, uno para cada mejilla, que permiten que el robot se sonroje. iii) *Corazón*. Con un disco de siete LEDs RGB se ilumina el corazón del robot que luce en su pecho, mostrando sus latidos. Éste es un elemento importante en la interacción con el usuario, ya que estudios han demostrado que señales fisiológicas como la frecuencia de latido son buenos indicadores del estado emocional [7]. y iv) *Oídos*. Por último, dos anillos de doce LEDs, cada uno en un lado de la cabeza, iluminan sus oídos cada vez que el robot está escuchando al usuario.

## 4.3. MOTORES

Tal y como se puede ver en la Figura 1, el robot dispone de cinco grados de libertad con un servomotor en cada uno de ellos: M1 (torso), M2 y M3 (brazos), M4 (cuello), M5 (cabeza). A diferencia del robot Mini, se ha escogido una controladora con un coste más reducido y actuadores diferentes en cada eje, teniendo en cuenta factores como tamaño, ángulo límite y par en lugar de sobredimensionar todas las extremidades con el mismo modelo. Todos ellos tienen en común la característica de ser servomotores utilizados para modelismo. Al hacer esta consideración se amplía el catálogo de servomotores que satisfacen los diferentes requisitos, facilitando la selección del modelo por factores adicionales como el ruido generado.

## 4.4. ALTAVOZ Y TABLETA

El altavoz es el componente capaz de realizar la comunicación verbal con el usuario. A través de él le da indicaciones, propuestas, recordatorios, etc. Es el medio empleado para realizar la comunicación de robot a humano de forma fluida.

La tableta es la otra manera disponible para el robot de comunicarse con el usuario y viceversa (ver sección 5.2). A través de ella, el robot es capaz de mostrar contenido multimedia, dar información al usuario, mostrar opciones y menús, etc.

## 5. COMPONENTES DEL ROBOT DE BAJO COSTE: SENSORES

Los sensores son los diferentes componentes que incorpora el robot para recopilar información del entorno y del usuario a fin de interactuar con él. De manera análoga al altavoz, será el micrófono el que permita al usuario enviar información al robot, complementándose con la tableta y los sensores de tacto de los que dispone. Sin necesidad de la intervención del usuario, Milow dispone de sensores encargados de analizar su entorno, mediante un sensor de luminosidad, una cámara y un detector de movimiento.

### 5.1. MICRÓFONO

Es el componente que permite una comunicación verbal fluida desde el humano hacia el robot. En este caso, se ha utilizado un único micrófono unidireccional de alta sensibilidad con reducción de ruido de ambiente para mejorar el reconocimiento de voz. Con él, la persona puede especificar indicaciones al robot y responder a lo que éste le pregunte. Es el principal modo de interacción que utiliza el robot, aunque se complementa con el resto para conseguir una interacción multimodal.

### 5.2. TABLETA

Como sensor, la tableta permite que el usuario indique opciones seleccionadas al robot, tanto de funcionalidades para usar como de respuestas a ejercicios. Además, permite que el usuario pueda contestar por pantalla en caso de que la comunicación a través del micrófono no esté funcionando correctamente.

### 5.3. SENSORES DE TACTO

Estos sensores capacitivos permiten que el robot detecte cuando el usuario le toque. Para poder obtener suficiente información, Milow dispone de más zonas de tacto que Mini. En vez del uso de sensores individuales para cada zona de sensado, como sucede en Mini, Milow dispone de un único sensor capaz de recibir información de hasta 12 canales diferentes. Esto permite aumentar el número de zonas considerablemente y mejorar la calidad de interacción táctil con el robot a la vez que se reduce el coste. Concretamente se diferencian 6 zonas de tacto en el robot, listadas en la Figura 1. Dichos sensores permitirán al usuario despertar al robot, llamar su atención, interrumpirle e interactuar con él en algunos ejercicios.

Ya que el diseño externo del robot incluye una funda textil, tal y como se explica en la Sección 6.2, para hacerlo más agradable para los usuarios,

los sensores de tacto deben de ser capaces de detectar los toques a través de dicha funda. Para aumentar la distancia de sensado, es necesario extender la superficie conductora conectada al canal correspondiente, ya sea mediante hilo conductor o mediante placas de metales conductivos como cobre o aluminio.

#### 5.4. SENSOR DE LUMINOSIDAD

El sensor de luminosidad (LDR), es un sensor resistivo cuyo valor varía en función de la luz que recibe. Dicho sensor permite medir la intensidad de luz de la estancia en la que se encuentra el robot. La información de este sensor se utiliza con el propósito principal de iluminar en mayor o menor medida los ojos. La necesidad de este sensor incorporado en Milow, del que Mini no disponía, surge para permitir que el robot pueda estar en una habitación con poca luz o incluso a oscuras con la iluminación de las pantallas acorde a la luz del entorno. De forma que se vean bien cuando hay mucha luz, pero que mantengan un nivel de iluminación natural aunque la luz ambiente cambie.

#### 5.5. CÁMARA

En el robot Milow, la cámara se controla mediante la Raspberry, que es quien recibe y procesa las imágenes. Su principal objetivo es identificar rostros para detectar si hay un usuario delante del robot y poder reconocerlo.

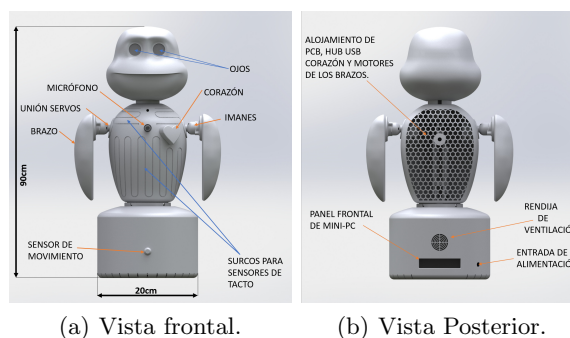
#### 5.6. DETECTOR DE MOVIMIENTO

El siguiente sensor del que se dispone para obtener información del entorno es un sensor de movimiento infrarrojo. Este sensor permite detectar movimiento delante del robot, permitiendo que no sea necesario realizar un procesado de imagen en todo momento.

### 6. DISEÑO DEL ROBOT

Al analizar el diseño del robot se pueden diferenciar dos partes. En primer lugar, el diseño mecánico del robot, es decir, de la estructura interna que soporta y fija todos sus componentes a la vez de incluir los mecanismos necesarios para dotar al robot de movilidad. En segundo lugar, se definirá la apariencia estética del robot, entendido como tal el diseño externo de éste.

La Figura 2 muestra la apariencia externa del conjunto de piezas plásticas ensambladas, así como sus dimensiones de alto y ancho en la vista frontal.



(a) Vista frontal.

(b) Vista Posterior.

Figura 2: Ensamblaje de carcasa de Milow.

#### 6.1. DISEÑO MECÁNICO

A continuación, se explican de manera general los diseños de las piezas que conformarán la estructura del robot, comenzando por la parte inferior, que es la base, hasta terminar en la cabeza, siguiendo así un orden lógico de exposición. Se ha utilizado la tecnología de impresión 3D, por su reducido coste, para la creación de las piezas diseñadas. Los materiales utilizados han sido PLA en piezas con geometrías más complicadas y que no sufren esfuerzos térmicos y ABS las que sí lo hacen, dado que éste último posee un punto de temperatura de deformación más alto.

##### 6.1.1. Base

En primer lugar, con el fin de ahorrar soportes interiores, la base se ha diseñado de forma cilíndrica con un diámetro interior igual al diámetro externo de un rodamiento de bajo coste. Dicho rodamiento es una pieza importante, puesto que realiza las siguientes funciones: i) refuerza las paredes ante esfuerzos externos al apoyarse en la parte superior de la base, ya que al ser metálico tiene una resistencia mucho más elevada; ii) soporta las piezas utilizadas para sujetar el final de carrera óptico y los mecánicos así como una pieza ranurada, que en conjunto conformarán un encoder de baja resolución para obtener la posición absoluta del torso con respecto a la base (ver Figura 3); iii) aloja la pieza donde se encaja el torso, que incorpora en su parte inferior los dientes con los que engrana el servomotor de rotación continua. Esta configuración permite el paso de los cables de alimentación y comunicación hacia el cuerpo directamente desde la parte central del robot, reduciendo así la torsión en los conductores y disminuyendo el esfuerzo de giro por medio de una transmisión reductora.

Dentro de la base se encuentran los siguientes elementos: i) El *mini-PC*, situado en la parte más baja con el panel frontal orientado hacia la parte posterior del robot. Como se observa en la Figura 2(b) el panel frontal muestra el LED del mini-PC

y permite el acceso al botón de encendido, al jack de audio para utilizar auriculares con micrófono como medio de interacción y puertos USB que proporcionan la alimentación a periféricos como la tableta.

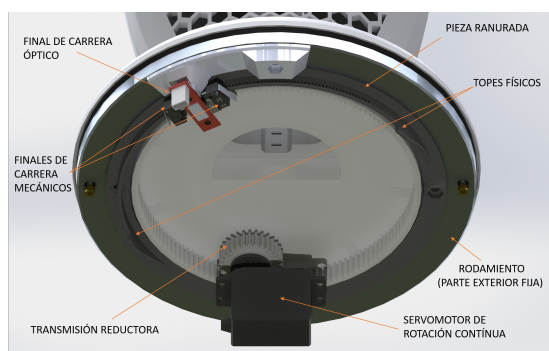


Figura 3: Encoder.FOTO PROVISIONAL.

ii) La *fente de alimentación* suministra corriente a todos los componentes del robot, con niveles de 12V para el mini-PC y 5V para el resto de componentes. iii) El *servomotor* de rotación continua, junto al final de carrera óptico explicado anteriormente y junto a los finales de carrera mecánicos. Dichos sensores actúan como topes físicos con la finalidad de que el usuario no sobrepase el torso de cierta posición límite. iv) Se ubica el sensor PIR (ver sección 5.6), colocado a media altura en el exterior de la base, centrado en la dirección frontal del robot. v) Un ventilador utilizado para sacar el aire calentado por los componentes electrónicos.

### 6.1.2. Torso

Seguidamente, el torso del robot se ha diseñado en dos piezas, correspondientes a la parte frontal y trasera respectivamente. Dicha carcasa tiene unas dimensiones escaladas a menor tamaño del cuerpo final, ya que el robot dispone de una funda de peluche con relleno que le dota de un aspecto más amigable y una textura más suave y blanda. Únicamente sobresalen el micrófono y el corazón hasta el espesor del chaleco para mejorar la captura de sonido y proyectar mejor la luz. Alojados en el cuerpo se encuentran los siguientes componentes: i) *Placa de circuito impreso* que comunica los principales componentes electrónicos entre sí. ii) Cables conductores conectados con el sensor de *tacto* e insertados en surcos que presenta la carcasa, como se aprecia en la Figura 2(a). Al realizar una estructura de malla con los cables se consiguen aumentar el área y la distancia de sensado. iii) El *corazón*, ver detalles en la sección 4.2. iv) Un hub USB que aumenta los puertos serie a utilizar. Y v) *Micrófono* para interactuar con los usuarios.

El anclaje de los brazos, mostrado en la Figura

4, se realiza mediante una pieza que aprovecha la prensa formada por las partes frontal y posterior del torso. Como se puede observar, se trata de dos piezas por cada servomotor que encajan en la carcasa del cuerpo, bloqueando un rodamiento en su interior en el que se sujetan, por un lado el modelo que encaja en el engranaje del servomotor, y por otro lado el que estará unido al brazo.

Esta configuración ayudará a soportar los esfuerzos presentes debidos al peso inherente de las piezas de plástico de los brazos.

La unión entre los brazos y el torso del robot se realiza de la misma manera que en el robot Mini, es decir, mediante imanes. La principal ventaja de esta unión es la de dotar a las extremidades de seguridad ante roturas al evitar forzar los servomotores antes de que se produzca la separación del imán.

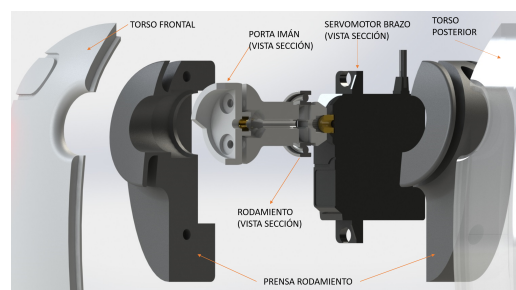


Figura 4: Apreciación en detalle del refuerzo y anclaje del servomotor de un brazo.

### 6.1.3. Cabeza

La cabeza del robot Milow sigue el concepto del robot Mini: dispone de dos grados de libertad, que coinciden con los movimientos de asentir (“tilt”) y de negar (“pan”). Otra consideración tenida en cuenta es que por el cuello pasan todos los cables que van a la cabeza del robot. Por ello, es importante que el cuello no se mueva, de manera que los cables puedan estar fijos y, especialmente, se eviten interferencias con los conductores de los sensores de tacto ubicados en la cabeza. Como consecuencia de que el cuello tenga que ser fijo, los dos motores de la cabeza deben ir dentro de ella.

Además, el cuello es uno de los puntos más críticos del robot, ya que es la unión entre el cuerpo y la cabeza y, por consiguiente, una pieza muy propensa a sufrir esfuerzos mecánicos. Por ello, es importante que la pieza sea robusta y fuerte. Por este motivo, se ha diseñado una base de muelles sobre el cuello, para que absorba los esfuerzos mecánicos realizados sobre la cabeza protegiendo al cuello de ellos (ver Figura 5).

En cuanto a los motores, en primer lugar, se ubi-



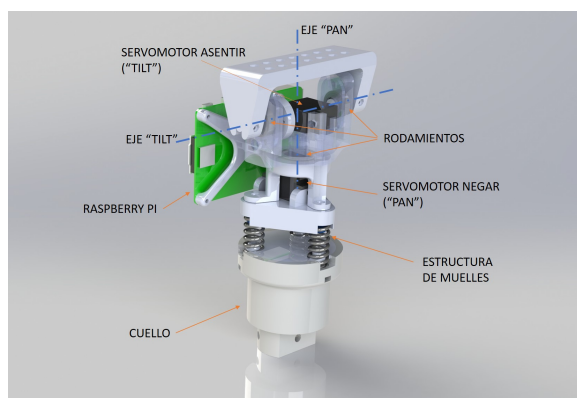


Figura 5: Estructura interna de la cabeza.

ca el motor de movimiento en el plano horizontal permitiendo a la Raspberry Pi moverse en este sentido, pero no en el movimiento dentro del plano vertical. Por su parte, el otro motor se ubica sobre el anterior. Sin embargo, para proteger los mismos y robustecer las uniones móviles de la cabeza, ambos motores se protegen con rodamientos.

La Raspberry se ancla de forma que sea solidaria con el motor en sentido de negación, pero no con el de afirmación para que los cables que suben por el cuello a la Raspberry tengan el mínimo movimiento posible y, en cualquier caso, este no sea de extensión y contracción. Por otro lado, la Raspberry se conecta a las pantallas de los ojos mediante un bus de cables. Dicho bus puede doblarse en el movimiento afirmativo de la cabeza que realizan las pantallas sin sufrir esfuerzos.

En el diseño de la estructura interna de la cabeza se tienen en cuenta el resto de componentes que deben incorporarse. Por un lado, los LEDs para la boca, las mejillas, los oídos, las pantallas de los ojos, la cámara, el sensor LDR y los altavoces van anclados sobre la propia carcasa. De tal forma, en el esqueleto interno mostrado en la Figura 5 únicamente deben ir anclados los dos motores y la Raspberry Pi además de la carcasa de la cabeza.

## 6.2. Apariencia estética

Estéticamente se han buscado formas redondeadas, evitando aristas pronunciadas en el robot. Esta consideración se presenta en la forma cilíndrica con tapa redondeada de la base, y en la forma suave del cuerpo y de la cabeza. En la Figura 6 se muestra el cuerpo con la funda colocada. Al no tener ningún componente insertado en el chaleco, se facilita el mantenimiento y lavado de éste al poder extraerlo de una manera sencilla del cuerpo del robot. Al igual que en Mini, los brazos poseen una funda del mismo material que la capa externa del chaleco, pero fabricado en otro color para poder

diferenciar mejor visualmente las distintas partes.



Figura 6: Base, torso cubierto con chaleco y brazos forrados.

En lo que al diseño estético de la cabeza se refiere, hay varias exigencias que limitan su diseño. En primer lugar, tiene que ser suficientemente grande para incluir todos los componentes que en ella se ubican y, a su vez, tener una medida acorde al tamaño del robot de tal forma que quede proporcionado. Por último, el tamaño de los ojos ya viene definido por las pantallas empleadas para mostrarlos (ver Figura 7). El mayor reto surge al considerar esta tercera exigencia, debido a que el tamaño de las pantallas resulta ligeramente pequeño respecto a la cabeza. Se ha buscado diseñar la cabeza del robot para resaltar los ojos, una de las mayores fuentes de expresividad del robot.

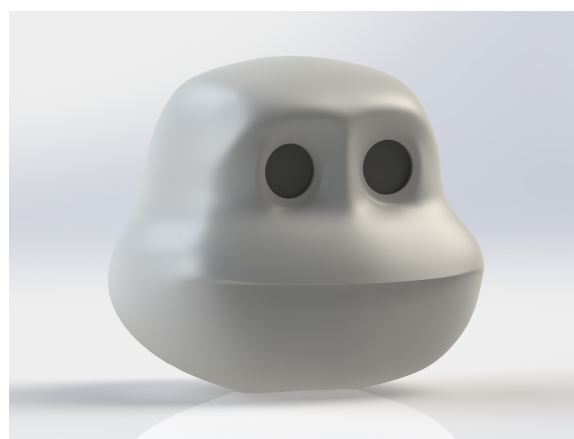


Figura 7: Diseño estético de la cabeza.

## 7. CONCLUSIÓN

Como conclusión acerca de la inversión realizada a la hora de fabricar el robot que se explica en este documento, en la siguiente tabla se reúnen

los principales componentes y sus precios aproximados. A su vez, es necesario resaltar que todos los componentes se han comprado de manera unitaria, por lo que su precio a gran escala se vería reducido.

Componente	≈ Precio (€)
Fuente de alimentación	20
mini-PC	160
Raspberry	30
Controladora servos	20
Servomotores	70
Rodamientos	30
Arduino, sensores y LEDs	20
Pantallas ojos	40
Tableta	60
Total	≈ 450

Realizando una estimación experimental con los modelos elegidos, el precio del robot de bajo coste es inferior a 500€, lo que comparado con el precio de partida del robot Mini, superior a los 2.500€, supone una reducción de más del 80%.

Por último, tras realizar pruebas de interconexión y ejecución a bajo nivel, se ha determinado que todos los componentes expuestos son válidos para el funcionamiento del robot, presentando compatibilidad entre sí.

### Agradecimientos

Este estudio recibió fondos de los proyectos: Desarrollo de robots sociales para ayuda a personas mayores con deterioro cognitivo (ROBSEN), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad; y RoboCity2030-DIH-CM, Madrid Robotics Digital Innovation Hub, S2018/NMT-4331, funded by “Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid” and cofunded by Structural Funds of the EU.

### English summary

## LOW COST VERSION OF THE SOCIAL ROBOT MINI

### Abstract

*This article covers the design and construction of Milow, a Low-Cost version of the social robot Mini, developed by the RoboticsLab group in order to interact with elderly people. The aim of Milow is not only keeping the same functionalities but also improving some of them reducing costs at the same time. The document mainly shows the Hardware components that should be included in such type*

*of robot. In its conclusion, the article identifies a cost reduction over 80% regarding its physical components.*

**Keywords:** Mini. Social Robotics. Low-Cost. Hardware.

### Referencias

- [1] E. Salichs, E. Fernández-Rodicio, J. C. Castillo, Á. Castro-González, M. Malfaz, and M. Á. Salichs, “A social robot assisting in cognitive stimulation therapy,” in *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, pp. 344–347, Springer, 2018.
- [2] K. Wada and T. Shibata, “Living with seal robots—its sociopsychological and physiological influences on the elderly at a care house,” *IEEE transactions on robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 972–980, 2007.
- [3] J. Skågeby, ““well-behaved robots rarely make history”: Coactive technologies and partner relations,” *Design and Culture*, vol. 10, no. 2, pp. 187–207, 2018.
- [4] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng, “Ros: an open-source robot operating system,” in *ICRA workshop on open source software*, vol. 3, p. 5, Kobe, Japan, 2009.
- [5] P. Bouchier, “Embedded ros [ros topics],” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 20, no. 2, pp. 17–19, 2013.
- [6] C. F. DiSalvo, F. Gemperle, J. Forlizzi, and S. Kiesler, “All robots are not created equal: the design and perception of humanoid robot heads,” in *Proceedings of the 4th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques*, pp. 321–326, ACM, 2002.
- [7] S. H. Fairclough, “Fundamentals of physiological computing,” *Interacting with computers*, vol. 21, no. 1-2, pp. 133–145, 2009.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).