



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES
ARTS DE SANT CARLES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultat de Belles Arts

"Com si fos abans". Conceptualització, ideació i desenvolupament d'un prototipat d'instal·lació artística multimèdia interactiva lúdica.

Treball Fi de Grau

Grau en Belles arts

AUTOR/A: Molina Carda, Andreu

Tutor/a: Mañas Carbonell, Moisés

CURS ACADÈMIC: 2023/2024

Títol: "Com si fos abans". Conceptualització, ideació i desenvolupament d'un prototipat d'instal·lació artística multimèdia interactiva lúdica.

RESUM

La relació amb les formes esfèriques, creen en el meu imaginari records de moments jugats i experiències de la infantesa, records al pati del col·legi, perseguint una pilota sense preocupacions. Aquest treball de fi de grau, eminentment pràctic, mostra el procés de conceptualització, ideació i desenvolupament d'un prototip d'instal·lació interactiva artística titulada "Com si fora abans", on l'usuari pot jugar amb una esfera motoritzada amb la finalitat de crear una experiència lúdica i formal a través de la interacció de l'usuari amb el joc.

PARAULES CLAU

Instal·lació interactiva; art electrònic; escultura lúdica; impressió 3D

Títol (Anglés): "Com si fos abans". Concept, idea and development of a prototype of a playful interactive multimedia art installation.

RESUM (Anglés)

The relationship with the spherical shapes, create in my imagination memories of moments played and childhood experiences, memories in the school playground, chasing a ball without worries. This final degree project, eminently practical, shows the process of conceptualisation, ideation and development of a prototype of an interactive artistic installation entitled "As if it were before", where the user can play with a motorised sphere in order to create a playful and formal experience through the interaction of the user with the game.

PARAULES CLAU (Anglés)

Interactive installation; electronic art; sculpture; playful; 3D printing

Agrair al meu tutor, Moisés Mañas Carbonell, per tots els consells que m'ha brindat durant el desenvolupament del present TFG.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	p. 2
1.1. Motivació	
2. OBJECTIUS	p. 3
2.1. Generals	
2.2. Específics	
3. METODOLOGIA	p. 5
3.1. Fases part teórica	
3.2. Fases part pràctica	
3.3. Diagrama Gantt	
4. MARC CONCEPTUAL	p. 8
4.1. Art, Artistes i Tecnologia.	
4.2. Casos d'estudi	
5. MARC PRÀCTIC	p. 21
5.1. Preproducció	
5.1.1. Ideació	
5.1.2. Esboços	
5.1.3. Diagrama tècnic	
5.1.4. Diagrama d'interacció	
5.2. Producció	
5.2.1. Prototipat	
5.2.2. Programació fundamental	
5.2.3. Video prototip	
6. CONCLUSIONS	p. 56
7. FONTS REFERENCIALS	p. 58
7.1. Bibliografia	
7.2. Webgrafia	
8. ÍNDEX DE FIGURES	p. 61
9. ANNEXES	p. 62

INTRODUCCIÓ

Al llarg de la següent memòria eminentment pràctica es presenta un Treball de Final de Grau (TFG) que se centra en la concepció, ideació i desenvolupament d'un prototip d'instal·lació interactiva artística mitjançant l'ús de les noves tecnologies.

El funcionament a nivell d'interacció de la proposta es basa en el moviment d'una esfera per mitjà de tècniques senzilles de *tracking vídeo*, analitzant la posició de la mà de l'espectador a través d'una computadora que convertirà per mitjà d'un programa generat en p5.js eixe posicionament en una llista d'ordres de moviment que faran moure's l'esfera física en el mateix sentit de la mà.

Aquesta relació entre l'esfera (desenvolupament robòtic-mecànic controlat amb Arduino a través del protocol de comunicació bluetooth) i l'espectador es converteix en una espècie de performance o acció que pretén mostrar una experiència de telecontrol des del punt de vista tècnic i una proposta de relació humà màquina a través del gest, com a motor i generador d'expressió i control en la comunicació des d'un punt de vista conceptual i artístic.

Motivació

La següent proposta es desenvolupa sota la intenció d'unificar dues de les disciplines cursades durant el grau, escultura i MediaLab.

Aquesta intenció es recolza en una motivació per experimentar en el procés d'unir totes dues disciplines i aprendre durant el procés.

Pel costat de l'escultura, informar-se sobre casos anteriors d'artistes que apliquen les tecnologies als seus projectes i treballar en l'estètica de la proposta.

Pel costat de MediaLab, conèixer nous comandos de programació i les aplicacions d'aquests, nous llenguatges (JavaScript - p5.js), mecàniques de

disseny 3D tècnic (CAD/CAM) i impressió 3D i, al seu torn, continuar millorant en la part relacionada amb l'electrònica (soldadura, cablejat, mecanismes, càlculs de relació entre l'amperatge i el voltatge necessari).

OBJECTIUS

Els objectius que es van plantejar en aquest TFG van ser planificats tenint en compte:

- Limitacions d'espai. En tractar-se d'una proposta eminentment pràctica ha de tenir-se en compte l'espai de treball per a evitar marcar objectius que no es puguin dur a terme a causa de mancances d'equip de seguretat o d'ambient.
- Limitacions materials. Ha de tenir-se en compte abans de plantejar els objectius quin és el pressupost i en quines eines i materials es compten per a poder dur a terme la proposta sense tractar de reunir objectius que no són viables en els materials amb els quals es compten.
- Capacitats de l'alumne. En tractar-se d'un entorn de desenvolupament que no sol tractar-se àmpliament en Belles arts, el treball compta amb una dificultat afegida deguda a l'aprenentatge d'aquest àmbit.

Sobre la base de les limitacions, s'ha plantejat una àmplia gamma d'objectius que s'ajusten als diversos aspectes de la proposta. Aquests es divideixen en generals i específics:

Entre els **objectius generals** plantejats es troben:

- Creació d'una proposta artística interactiva relacionada amb la tecnologia electrònica i digital.

- Idear, crear i desenvolupar un prototip artístic electrònic interactiu controlat per visió per computadora capaç de llegir mitjançant el tracking vídeo les instruccions de l'espectador i amb eixes dades controlar una esfera robotitzada rodant.

Els **objectius específics** es van centrar en aquells aspectes que havien de veure amb la contextualització i el desenvolupament tècnic del projecte.

Entre aquests objectius podem citar:

- Trobar i identificar referents tant del gènere de ciència-ficció cinematogràfica com de la producció artística contemporània que tingui una relació formal amb la proposta de prototip així com tècnic-tecnològica.
- Dissenyar i construir un dispositiu rodant autònom robotitzat amb forma d'esfera.
- Aplicar els coneixements tècnics apresos d'impressió 3D i electrònica en el grau de BBAA en una proposta artística experimental.
- Emprar i augmentar coneixements de manera autònoma, autoaprenentatge continu, programes relacionats amb tecnologies digitals 3D com Blender, 3d max, Maia i One Shape i aplicacions de programació com Arduino i p5.js.
- Fer ús de tècniques i filosofies DIY (Do it yourself) i Maker en el desenvolupament del projecte pràctic.
- Compondre i aplicar un gràfic a mode de cronograma il·lustrat per a la gestió i seguiment del projecte.

METODOLOGIA

En tractar-se d'una proposta eminentment pràctica centrada en l'ús de la tecnologia aplicada a l'art i comptant amb els recursos de l'autor, l'estudi teòric i contextualització va ser una part important que es va desenvolupar durant la confecció del projecte, servint com a base per a l'elaboració pràctica. La metodologia que s'ha intentat utilitzar ha sigut deductiva, partint de coneixements acceptats i aplicar-los en unes condicions determinades específiques. S'ha intentat fer ús de la metodologia descriptiva explicant les parts dels nostres objectius, així com també s'ha realitzat una metodologia experimental en la part pràctica del treball a través d'assaig error i aportant possibilitats i proves no definides des del primer moment.

Fases de la part teòrica

Abans de començar a desenvolupar la pràctica es van realitzar esquemes i simulacions per a fer costat al desenvolupament tecnològic i poder conèixer el funcionament de cada mecanisme i quin anava a ser la seva funcionalitat en el prototip.

Per a recaptar aquesta informació es va dividir el marc teòric en quatre fases d'estudi:

- La primera fase va consistir en un **estudi dels diversos projectes** que ja s'havien fet en aquest àmbit, on es van analitzar tots els materials necessaris al costat del tipus de maquinària que es va utilitzar durant el procés.
- A més va caldre fer un **estudi** relacionat amb els **llenguatges de programació**. D'una banda Arduino, que utilitza un llenguatge de programació propi basat en C/C++ i a més compta amb una extensa biblioteca amb informació per a programar i videotutoriales per a

cadascun dels seus mòduls. D'altra banda p5.js, que es tracta d'una biblioteca de programació basada en JavaScript.

- Amb aquests aspectes clars es va fer una **cerca dels components** que conformen el projecte .

Per a realitzar aquesta cerca de materials es van tindre en compte els valors de Voltatge (V) i d'Amperatge (A) per a poder alimentar la maquinària.

- La tercera fase va consistir en la **realització d'una sèrie de planols** delimitats en dues dimensions en One Shape on es va determinar l'espai per a cada mòdul.
- Finalment, es va seleccionar el pla que millor s'adequava al projecte i es va fer un **model 3D**.

Fases en la part pràctica

La part pràctica es va dividir en tres fases de desenvolupament.

- En primer lloc, adaptar el model 3D creat en la fase d'estudi per a poder imprimir la seua estructura que serviria com a suport per a cada mòdul de l'electrònica.
- Següent a això realitzar proves de connexions amb els mòduls de Arduino per a comprovar que tot funcione conforme als càlculs previs i preparar tot per a l'acoblament de les peces.
- Finalment, unir els resultats dels processos pràctics anteriors seguint els plans de la fase teòrica per a comprovar el funcionament una vegada es troben totes les peces juntes i fer les correccions necessàries, tornant enrere quan la solució dels errors el precisara.

Diagrama de Gantt

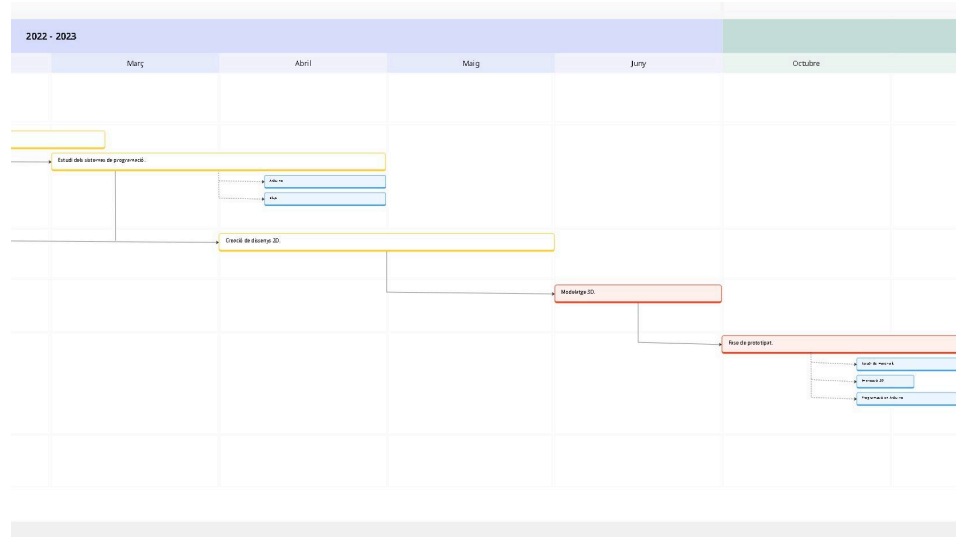


Fig. 1. Fragment de Diagrama de Gantt

Fragment del diagrama. Per consultar el diagrama de Gantt complet, seguir l'enllaç:

https://miro.com/welcomeonboard/Y1V3TmtkSGVLNzFNZ3FlanRyYjRnWW16RWVWY1hRSGtITU5yM1RNU2JpbEVxNWVVMWRUWEZYakdMSmQ3Znk0b3wzNDU4NzY0NTkyNzg4OTk2NjY5FDI=?share_link_id=366117484868

MARC CONCEPTUAL

Art, Artistes i Tecnologia. Aproximació al context de la pràctica “Com si fos abans”.

Per a poder entendre amb major facilitat la importància de la tecnologia en l'art i en aquesta proposta artística en concret, fa falta aclarir el pes que té la tecnologia en la societat actual.

Any a any l'Institut Nacional d'Estadística (INE) fa un estudi de seguiment sobre l'equipament i ús de tecnologies d'informació i comunicació en les llars.

Aquest estudi analitza mitjançant qüestionaris facilitats per per part de la població d'entre els 16 i 74 anys aspectes com l'ús d'internet en la llar i per individu, la possessió de dispositius electrònics, dispositius wifi o de domòtica i funcionalitats d'internet, com la compra en línia o l'ús d'apps.

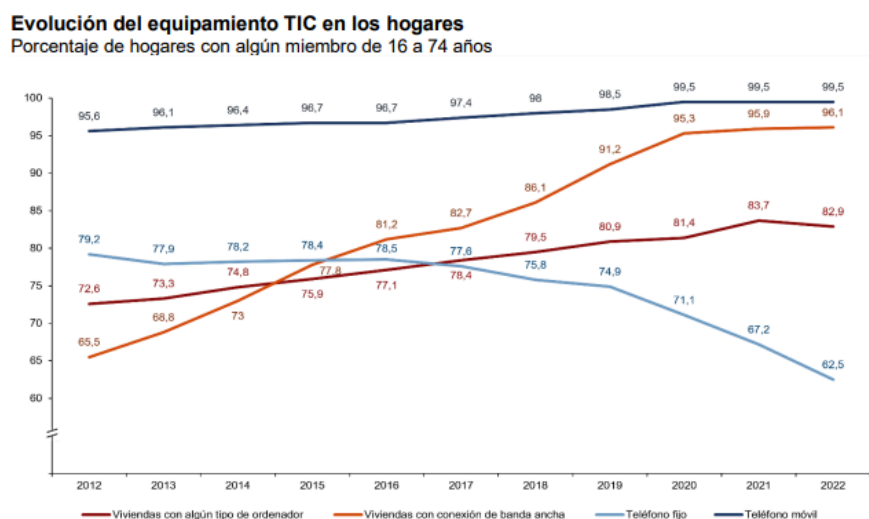
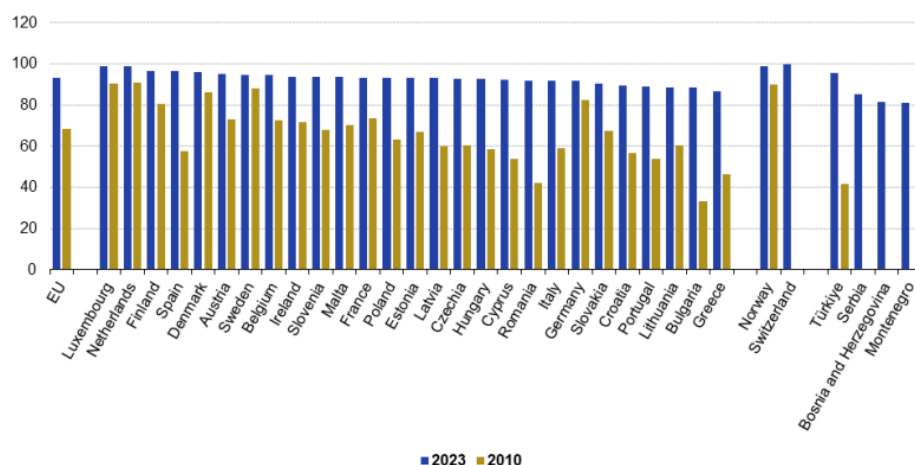


Fig. 2. Gràfic de l'evolució dels equips TIC als llars

Si observem aquest gràfic podem percebre que en l'última dècada a Espanya hi ha hagut un augment general en l'ús d'aquesta classe de tecnologies, excepte per la possessió de telèfons fixos. A més comparant aquestes dades amb els de

l'Eurostat (Oficina Estadística de la Unió Europea), veurem que es corresponen a la resta de països de la Unió Europea.

Internet access of households, 2023 and 2010



Source: [isoc_ci_in_h

eurostat

Fig. 3. Gràfic del accés a internet als hogars d'Europa

Aquest augment en l'ús de TIC que, a nivell europeu, se situa en un 13,48% entre el 2014 i el 2023 és degut en gran part al desenvolupament continu de noves tecnologies que s'adapten als estils de vida del moment i marquen canvis en la societat i en les disciplines o oficis.

L'art s'ha nodrit de la ciència i la tecnologia des de les primeres avantguardes (Suprematisme, Futurisme, Cinètics, etc.) i sobre tots els avanços des del segle XIX. Amb la creació de la fotografia com a exemple d'imatge tecnicocientífica i amb la qual, en un principi, alguns pintors feien ús d'aquesta per a prendre referències per a les seves pintures i escultures.

“Daguerre's photographs were iodised silver plates exposed in the dark room which, by being turned about in the correct lighting, would reveal a delicate-ramat picture. They were unique copies and in 1839 averaged 25 gold francs a plate. Not uncommonly they were kept in cases like jewellery. In the hands of many painters, however, they became technical aids.”

Walter B. (1931) **A short history of photography.**

“In the 20th century, there were some experiments to create dynamic plasticity in Futurism, Dadaism, Bauhaus, Russian Constructivism, etc. E.g., it is possible to remember Duchamp’s Bicycle Wheel (1913) and Rotary Glass Plates (1920) or an ambitious Vladimir Tatlin’s project of the seven-story building with independently rotating floors of the Monument to the Third International (1920)”.

Maria F., Alexander F. y Denis S., St. Petersburg Polytechnic University (2022)

Movement Technology: From Kinetic Art to Digital Art



Fig. 4.
Bicycle Wheel - Duchamp
1913

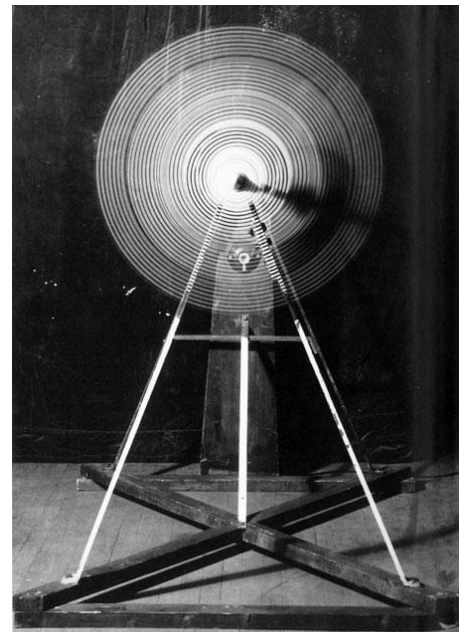


Fig. 5.
Rotary Glass Plates - Rose Sélavy
1920

Aquesta escultura de Rose Sélavy fa ús de la tecnologia amb la finalitat de generar un moviment constant. La peça consisteix en un mecanisme que fa girar 6 plaques de vidre pintades en sentit circular, donant la sensació que es generen cercles pintats.

Malgrat l'existència d'escultures centrades en el moviment a principis del segle XX, no és fins al 1955 que es denomina aquest estil artístic com a art cinètic, en

l'exhibició "*Le Mouvement*" en la Denise René Gallery, on es van exposar obres cinètiques i d'art òptic de Jesús Rafael Soto, Yaacov Agam, Jean Tinguely i Pol Bury.

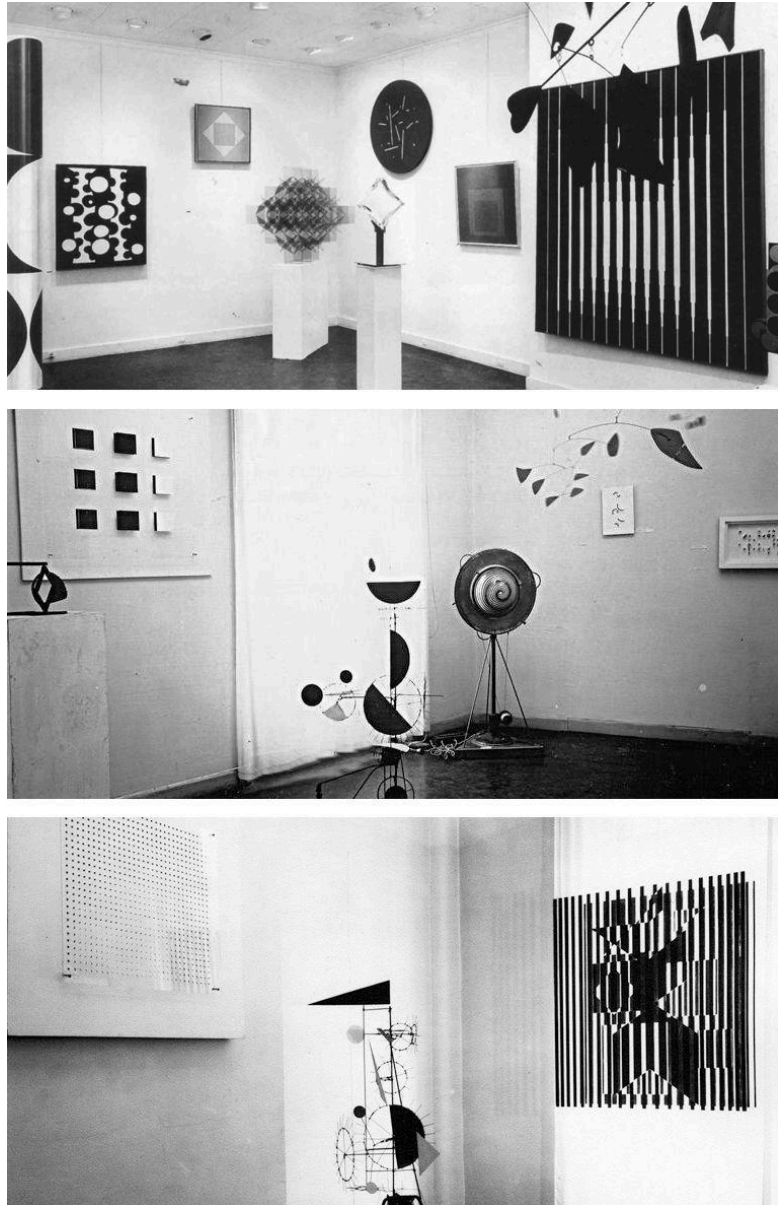


Fig. 6. Conjunt d'imatges de l'exhibició "*Le Mouvement*", 1955

L'Art Cinètic és part dels corrents artístics basats en l'exploració de l'estètica del moviment i es caracteritza per fer ús de l'escultura com a mitjà sobre el qual generar aquest moviment. Les obres d'art cinètic fan ús d'elements mòbils

amb els quals l'espectador pot interactuar o que aconseguen moure's per mecanismes centrats en la física o en la mecànica.

D'altra banda, en l'àmbit o disciplina pictòrica, apareix el moviment Op-art en els anys 50 del segle XX, que consisteix a estudiar el color i les formes des d'un punt de vista perceptiu i sensorial a través de l'ús de la geometria com un model capaç de representar la lleis de l'univers i de la naturalesa com deia Vasarely, un dels seus principals exponents. En alguns casos la idea de l'artifici, la generació d'il·lusions òptiques a través de trames de color (2 dimensions) o a través de formes físiques (tres dimensions) construïen un univers senzill i alhora complex de vibracions, simulacres retinals que feien d'aquesta mena d'obres un element màgic, innatural. Però res més lluny de la realitat, era aplicar tècniques i resultats de la ciència a l'experiència artística.

En 1965, va tindre lloc en el Museum of Modern Art de Nova York (MoMA) l'exposició "*The Responsive Eye*", que comptava amb 123 obres de Op-art. L'exposició va anar catalogada pels visitants amb sensacions de "*aroused delight, anxiety and even vertigo*", i entre 1965 i finals de la dècada dels anys 70 va haver-hi un auge en la creació d'obres d'Art Cinètic i Op-art.

Amb el pas dels anys i el desenvolupament de noves tecnologies de visió i reproducció del segle XX, com el magnetoscopi, la càmera videografia i el gènere "vídeo", dispositius mecànic-elèctrics (motors, llums, sensors...) o l'aparició i ús de computadores analògiques i després digitals, van anar germinant corrents artístiques relacionades amb els propis dispositius tecno-científics com el videoart, l'art per computadora o art algorítmic, en els quals les produccions dels artistes feien ús parcial o complet de les tecnologies amb una intenció poètica, metafòrica en alguns casos i amb la pretensió de generar un missatge propi del seu temps, un temps d'una societat tecnotrónica. (BREZINSKI, 1973)

Actualment en aquesta dècada el segle XXI, amb la democratització de dispositius automatitzats domèstics prou potents i la cultura del programari en la qual estem immersos, detectem un ressorgiment del moviment cinètic (post-cinètic) emmascarat dins de la cultura club i techno. Les possibilitats de generació gràfica en temps real fan que els artistes puguin tornar a jugar de manera multimèdia i sinestèsica amb els espectadors/usuaris. Aquest “nou” moviment basat en la generació algorítmica d'imatge en moviment, impulsos sonors i visuals s'ha coronat com un moviment expressiu per a tota mena d'artistes amb o sense formació acadèmica. Aquest moviment del qual parlem, el performance audiovisual en temps real (liveAV) ha eixit de l'extraradi de la cultura, del club per a academitzar-se i convertir-se en matèria a impartir en qualsevol facultat de belles arts del segle XXI.

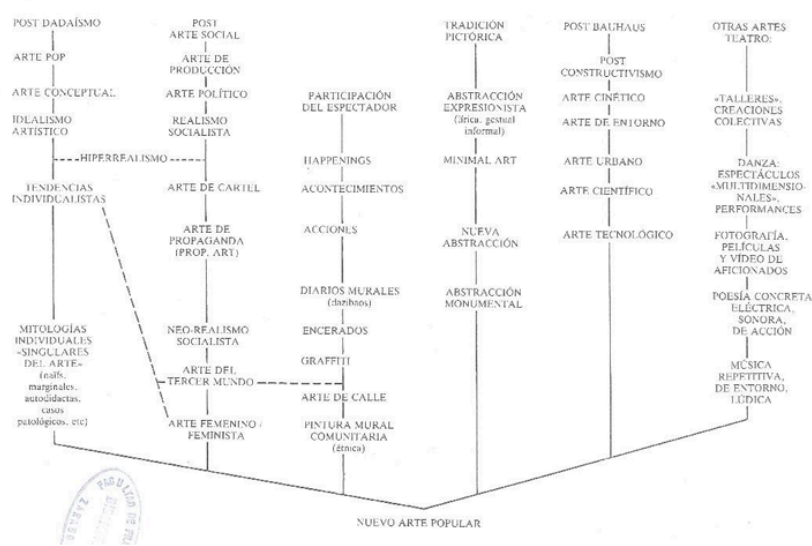


Fig. 7. Esquema de Frank Popper sobre l'evolució de l'art, 1989

Per tant, l'art tecnològic, no és res nou, com bé apuntava Frank Popper (1989) en el seu famós i clàssic esquema del seu treball “Art, Acció i participació.”, l'art tecnològic podríem dir que no és una altra cosa que l'evolució d'un art científic, urbà entenent l'urbà com a industrial, constructiu, participatiu i amb pretensions populars. És una espècie de baixa i alta cultura fusionada mitjançant dispositius mecànics, automatitzats i experimentals que ens conviden a reflexionar el paper que tenim com a creadors en eixa civilització

repleta de noves materialitats i generadora d'una geologia (Parrika, 2021), arqueologia (Zielinski, 2011) i paleontologia dels media.

Referents artístics

Observar el treball d'artistes que puguen servir de referent en el moment de començar a desenvolupar una proposta artística és un procés que ajuda a la confecció d'aquesta.

Per al desenvolupament d'aquesta proposta artística, s'han tingut com a referents aquells artistes relacionats amb les obres interactives, el treball amb esferes o l'ús de sistemes de tracking video, moviment per motors i Arduino:



Fig. 8.
Choe U-Ram - Round Table, 2022



Fig. 9.
Choe U-Ram - Round Table, 2022

- **Round Table** de Choe O-Ram és un projecte artístic que fa ús de la captura de moviment i l'anàlisi computacional com a mitjà d'interacció de l'obra.

La proposta del 2022 captura el moviment d'una esfera, per mitjà d'una càmera, per a així generar una sèrie d'ordres que envia al mecanisme que subjecta la taula. Fent així la impressió que la plataforma la mouen 18 figures de palla d'aspecte humanoide.

Aquesta no és la primera obra en la qual l'artista fa ús d'elements mecànics. Tant durant el 2022 com en anys anteriors ha fet ús de motors, llums o plaques bases customizadas en obres com "Little Ark" (2022), "Ala Aureus Nativitas" (2022) o "URC-2" (2016).

L'ús de les càmeres de captura de moviment i la reacció que comporta en aquesta obra, és un interessant tema d'estudi de cara al desenvolupament de projectes basats en aquesta tecnologia.

Tractant-se d'una referent de cara al desenvolupament de la proposta en l'àmbit del tracking vídeo com a mitjà d'interacció amb l'objecte.

Web site: http://www.uram.net/eng_new/intro_en.html

Video: https://www.youtube.com/watch?v=rpccsUV_LCM



Fig. 10.
Charlotte Triebus - Spheres, 2020



Fig. 11.
Charlotte Triebus - Spheres, 2020

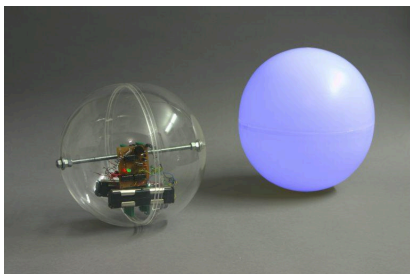


Fig. 12.
Mariela Yeregui - Proxemia, 2005

- **Spheres** (2020) és un projecte de performance col·laboratiu entre l'artista Charlotte Triebus i MIREVI. En aquest es fa ús d'un conjunt d'esferes motoritzades com a acompanyament i mètode d'interacció d'una coreografia de 25 minuts.

Les esferes aconseguen moure's a causa de l'ús de tres rodes motoritzades omnidireccionals que li permeten anar en qualsevol direcció sense tindre prejudicis en la seua eficiència per la fricció. Paral·lelament, fa ús d'un pes situat en la part inferior que permet mantindre l'estructura i les rodes unides a l'esfera i al seu torn millora l'estabilitat del projecte.

El disseny d'aquestes esferes motoritzades és una font d'inspiració de cara a la creació de la proposta.

L'ús de tres punts de suport omnidireccionals i de pesos fixos per a mantindre l'equilibri en un punt cèntric pròxim al sòl són idees que més tard s'adaptarien al projecte.

Web site: <https://mirevi.de/blog/spheres-a-robotic-live-performance/>

Video: <https://youtu.be/ttR-yeZ1U88>

- **Proxemia** (2005) de Mariela Yeregui és un conjunt d'esferes motoritzades de 25 cm de diàmetre que compten amb sensors de posició i moviment permetent-los fer un canvi direccional quan col·lideixen entre elles o objectes de l'entorn, provocant també un canvi lumínic en l'esfera. Aquestes esferes compten amb un mecanisme de moviment que només els permet avançar cap avant o cap arrere, no obstant això estan alimentades amb bateries recarregables amb una autonomia de 10 hores, la qual cosa promou el funcionament de la intervenció sense necessitat de tot just recarregar-les durant la jornada.

Aquesta obra comparteix en el seu disseny un punt comú amb l'anterior.

Tots dos mecanismes es diferencien en diversos aspectes respecte al seu mecanisme, ja que els seus fins són diferents i en Proxemia no és necessari que les esferes giren perquè l'obra funcione.

No obstant això, la cobertura que reben i allò que els dona la forma esfèrica coincideix en totes dues obres, tractant-se d'una pilota de plàstic dur que es tanca a pressió.

Tractant-se d'un dels pocs punts comuns que comparteixen és una referència al moment de dissenyar la cavitat que emmagatzemarà el mecanisme de la proposta.

Website: <https://marielayergui.com/proxemia-proxemics/>



Fig. 13.

Karina Smigla-Bobinski - ADA, 2011

- L'obra interactiva **ADA** (2011) de Karina Smigla-Bobinski fa ús de la interacció humana amb una esfera i la reacció d'aquesta interacció amb l'espai que els envolta.

Aquesta proposta es presenta com una esfera plena d'heli a la qual se li adhereixen puntes de grafit al voltant, brindant a l'espectador l'oportunitat de poder jugar espentejant i girant aquesta, generant dibuixos abstractes en fer contacte amb l'entorn.

Per a l'actual projecte, ADA és un referent en el que comporta a la unió del joc amb l'art.

Video: <https://youtu.be/OcNtvfALW1Y>



Fig. 14.
Random International - Rain Room, 2012

- **Rain Room** és una instal·lació interactiva basada en l'anàlisi de càmeres de rastreig 3D generada per Random International en 2012.

L'obra consisteix en una sala on constantment estan caient gotes d'aigua, simulant pluja, i només es detenen en aquelles zones on les càmbres identifiquen que hi ha una persona per mitjà del tracking vídeo.

Rain Room va servir com a referent per al desenvolupament del rastreig de moviment de la proposta, tractant-se d'un projecte que se centra en la resposta enfront d'un canvi en l'espai generant un seguiment.

Website: <https://www.random-international.com/rain-room-2012>

Video: <https://vimeo.com/51830893>

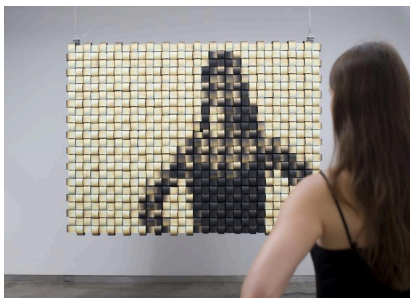


Fig. 15.
Daniel Rozin - Wave Mirror, 2007

- Finalment, l'artista **Daniel Rozin**.

És reconegut pel seu treball en el camp de l'art interactiu i les instal·lacions tecnològiques, utilitzant sensors i algorismes per a crear obres que responen al moviment i la presència de l'espectador.

La principal característica de l'artista com a referent per al desenvolupament del projecte va ser l'ús de la plataforma Arduino com a centre de programació.

El treball de Rozin, sovint, fa ús de càmeres connectades a una placa Arduino que controla diversos servomotors. Tot això amb la finalitat d'alterar la posició de tota classe d'objectes (des de cubs de fusta i pilotes fins a ninots o peluixos) donant peu a la imatge captada per les càmeres.



Fig. 16.
Daniel Rozin - Square Wooden Mirror,
1999 - 2020

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=kV8v2GKC8WA>

Referents tècnics

Per al desenvolupament dels prototips d'esferes motoritzades es van buscar projectes tecnològics on es tractara de sustentar d'un moviment autònom a esferes.

Com funciona BB-8?

En la pàgina web anomenada “Com funciona BB-8?” creada per dos seguidors de la franquícia de Star Wars, proporcionen arguments donant la seua opinió respecte al funcionament de l'esfera motoritzada “BB-8” i analitzen una patent del 2010 que pertany a Lucasfilm en col·laboració amb Disney la qual presenta un robot esfèric amb un sistema d'imants.

En l'anàlisi de la patent Carlos Sánchez i Emilio Geraldo, autors de la pàgina web, comentant el funcionament del producte “...El sistema usaria rodes omnidireccionals per a fer que l'esfera rode en qualsevol direcció. Cadascuna d'eixes rodes estaria connectada a un motor. El robot utilitzaria sensors (giroscopis i acceleròmetres per a determinar la seua posició i la seua dinàmica). El mecanisme seria manejable per control remot. La base interna actuaria com a sobrepès, mantenint el centre de gravetat sota perquè les rodes no perden tracció en cap moment.”

Aquesta descripció del que podria ser la patent del robot ve acompanyada de dos dissenys en tres dimensions dels possibles mecanismes que la pàgina mostra i que han realitzat altres seguidors de la franquícia.

A més d'aquests dissenys, en la web s'esmenta l'empresa *Sphero*.



Fig. 17. Modelo BB-8, ¿Cómo funciona BB-8?

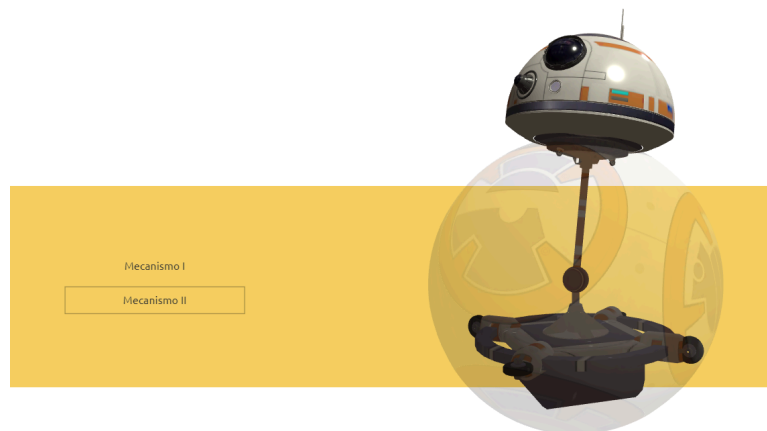


Fig. 18. Modelo BB-8, ¿Cómo funciona BB-8?

Sphero

Sphero és una empresa americana fundada en 2010 per Ian Bernstein i Adam Wilson que s'especialitza en la creació de joguets interactius i robòtica educativa. Amb seu en Boulder, Colorado, Sphero s'ha convertit en un referent en el desenvolupament de tecnologies lúdiques i educatives per a tots els públics.

Els seus productes més coneguts són el sphero mini i el sphero bolt, dues esferes motoritzades enfocades a l'aprenentatge i l'entreteniment que compten amb un sistema de moviment potenciat per dues rodes laterals motoritzades, un giroscopi per a mantenir l'equilibri i un suport superior atorgat per dues rodes unides a un eix.

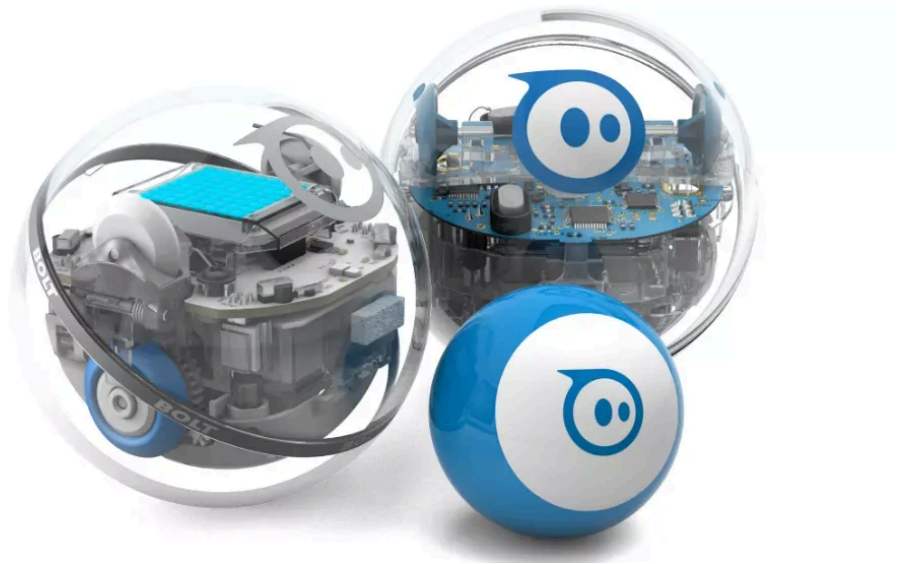


Fig. 19. Sphero

Aquest disseny d'esfera motoritzada és el que més s'aproxima al disseny final que es presenta en el projecte, tractant-se així del referent que més ha marcat en el disseny final del prototip.

MARC PRÀCTIC

El desenvolupament d'un projecte artístic d'aquest tipus l'he dividit en dues fases fonamentals: *Preproducció i Producció*.

Cadascuna d'aquestes se centra en dur a terme les diferents necessitats del projecte, que emboliquen des del procés de generar idees, estudiar altres casos ja existents o en desenvolupament que es troben relacionats amb el projecte i generar esbossos i mapes conceptuals, fins al desenvolupament de prototips, aplicació de les dades recol·lectades i posterior documentació del desenvolupament.

PREPRODUCCIÓ

La preproducció és la primera etapa en la creació d'un projecte artístic.

Aquesta fase se centra en la recopilació d'idees, dades i referents, igual que a marcar una sèrie d'objectius, organitzar el treball de les següents fases i generar mapes conceptuals i possibles proves bàsiques de disseny d'interacció i funcionament.

Ideació

El projecte sorgeix a partir de l'interès per crear una proposta de peça escultòrica amb la qual l'espectador pugui interactuar generant una reacció de moviment sobre l'escultura.

Sobre aquesta premissa és que es planteja tot el desenvolupament del projecte, buscant d'una banda el mode de generar el moviment i, per un altre, el sentit artístic de l'obra.

Pensar que és el que es vol aconseguir transmetre amb aquesta i com.

Durant el següent punt, el text serà escrit en primera persona per a exposar de mode més personal aquesta part del desenvolupament de la proposta i poder mostrar d'on sorgeix cada idea ja que hi ha una part que es deu a vivències personals que han servit d'inspiració.

Enfront del plantejament de produir una peça escultòrica interactiva i la incògnita de com generar el moviment en la peça, no vaig enfrontar cap resistència per a trobar opcions.

Des que tinc raó, record estar obsessionat amb temes de robòtica, tecnologia i ciència-ficció, per la qual cosa dotar de moviment a la proposta per mitjà de qualsevol mecanisme mecànic/robòtic era una expressió clara de la meua personalitat.

A més, en l'assignatura de **MediaLab i Impressió 3D** (6 ECTS) del Grau en Belles arts de la Universitat Politècnica de València (UPV), en el 2022, se'ns va plantejar el projecte de crear un joguet crític innovador accessible per a totes les edats. Proposta per a la qual ens centrem, com a inspiració, en els “nanobots” de la pel·lícula d'animació del 2014 Big Hero 6 de Walt Disney's Studios i que acabaríem canviant per un model previ d'esfera motoritzada, a causa de problemes de disseny que tractarem més endavant.



Fig. 20. Nano-bot, *Big Hero 6* (2014)

A partir d'aquest context és que vaig decidir que el moviment en la proposta fora generat per una esfera motoritzada, la qual l'espectador poguera moure com si fora un cotxe teledirigit. D'aquesta manera l'acció de la peça se centra en torn a un joc de control i moviment, tractant de projectar en l'espectador una experiència lúdica i visual a l'una.

Amb la finalitat de generar aquesta experiència lúdica i poder incrementar els estímuls del joc, vaig tractar de buscar opcions que feren ús de l'esfera. Per a això m'enfoque en aquells records que tenia de quan era un xiquet.

En primer lloc, vaig pensar a utilitzar l'esfera per a dibuixar en un paper en blanc amb pintures, com quan a l'escola en el curs d'infantil, dibuixàvem amb els dits. No obstant això, fent proves amb pilotes de ping pong em dí compte que la pintura era molt espessa i suposaria una gran resistència per a l'esfera. També vaig pensar a diluir la pintura, afegir un poc d'aigua perquè la resistència fora menor, però per a no embrutar havia de posar la mescla directament sobre el paper i en fer això podria repercutir negativament en el funcionament de l'esfera si el paper s'humitejava i a més la resistència de la pintura continuaria sent massa elevada.

En segon lloc, vaig pensar a utilitzar l'esfera per a dibuixar en arena gràcies al propi pes del mecanisme. Aquesta idea em va acompanyar durant gran part del projecte, ja que en les proves amb pilotes de tennis els resultats van ser positius, no obstant això, més endavant en les proves amb l'esfera em vaig adonar que no comptava amb suficient pes com per a marcar i a més en tindre una superfície llisa a vegades lliscava sobre l'arena, deixant d'avançar. Vaig provar de passar l'arena per un colador per a deixar només els grans més xicotets, llevant-li resistència, però malgrat fer una major incisió en l'arena continuava lliscant.

Al final, parlant amb el meu tutor de projecte sobre com aportar més estímuls a la proposta em va aconsellar fer ús de sons.

D'aquesta manera es percep l'obra tant amb el sentit visual com amb el sonor i, en controlar l'esfera per mitjà de posicions marcades amb les mans, també es veu involucrat el gest, com una espècie de sentit del tacte en l'experiència, amb el que l'usuari té més inputs i outputs en l'experiència interactiva multimèdia.

Esbossos

Amb la idea del projecte plantejada sorgeixen els primers esbossos per a un prototip, dibuixat en el programa d'il·lustració i pintura digital *Krita*¹ (Versió 5.2.3) i en paper a mà alçada, tractant-se d'uns primers dissenys on plantejar les idees generals per a la creació de l'esfera. Dissenys que amb el pas del projecte i els errors i problemes trobats durant el desenvolupament de prototips aniran variant i actualitzant-se.

Els primers dissenys es van basar sota la proposta del joguet interactiu de l'assignatura de **MediaLab i Impressió 3D**. En aquests, l'objectiu era que l'esfera es moguera gràcies a dues rodes exteriors que simularien les extensions en els “nanobots” prèviament nomenats. Enfront d'aquesta idea van sorgir dos dissenys:

El primer disseny presentava una esfera amb un forat a cada lateral, el qual s'unia a les rodes per mitjà d'uns eixos i rodaments. En gris hi ha un esbós sobre com es podria fer que els braços tingueren un moviment independent a l'esfera per mitjà d'eixos.

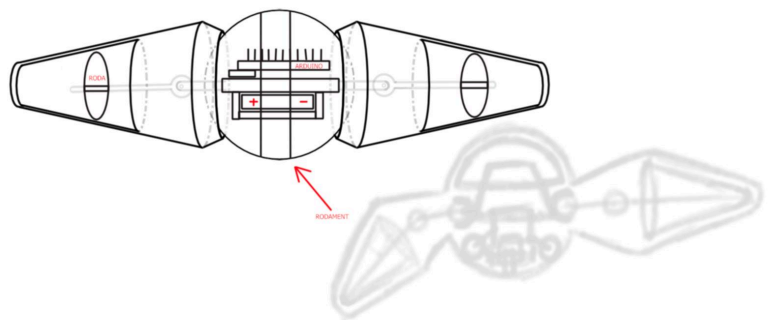


Fig. 21. Esbós 1

¹ Krita. <https://krita.org/es/>

- La idea del segon disseny se centrava en emmagatzemar tot el mecanisme i les rodes en l'esfera central i unir els laterals per imants. En l'esbós es poden diferenciar els imants pel fet que estan pintats de blau i en roig hi ha alguns gargots fets sobre l'estudi de les piles i com podria funcionar l'esfera central.

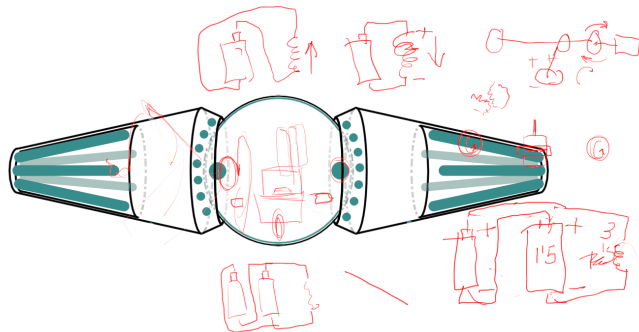


Fig. 22. Esbós 2

A causa del temps i coneixements que es tenien es va decidir optar pel primer model per als primers prototips.

I a partir d'aquestes idees plantejades, el projecte va anar prenent forma a través de nous dissenys generats amb el programari de disseny CAD en línia *OnShape*² (Versió 1.182.4390) els quals van ser posats a prova amb els seus respectius prototips.

- El primer disseny del prototip es va fer prenent com a inspiració les idees del primer esbós, no obstant això, l'esbós es va cancel·lar a meitat a causa de la grandària establida.

El model comptava amb una esfera central que feia la funció de contenidor en el qual s'emmagatzemaven els components del

²OnShape: <https://www.onshape.com/en/>

maquinari que no necessitava estar en contacte directe amb les rodes, és a dir: la placa Arduino Nano, el connector Bluetooth, les bateries i el driver.

El disseny de l'estructura estava pensat amb un sistema que advocava per l'estabilitat i la unió del projecte. Per a això, es va incorporar un conducte buit que recorria tota l'extensió del model, permetent el pas ordenat dels cables i evitant embolics o confusions. A més, aquest conducte no sols servia com a guia per als cables, sinó que també actuava com a estabilitzador de l'estructura i punt d'unió entre els diferents elements.

En cadascun dels costats del disseny es trobaven unes peces còniques que feien la funció de rodes, unides a l'estructura per mitjà d'uns rodaments, permetent el desplaçament del prototip. Cada con estava al seu torn connectat a una roda motoritzada, que li proporcionava l'impuls necessari per a poder moure's. A més, per a mantindre una connexió estable i segura, es va afegir una roda sense motoritzar a cada con.

Per a garantir un moviment suau i precís, es va implementar un sistema de rodaments en els extrems del conducte central. Aquests rodaments asseguraven que els cons pogueren girar sense obstacles ni friccions indesitjades, afavorint així el funcionament eficient de tot el conjunt.

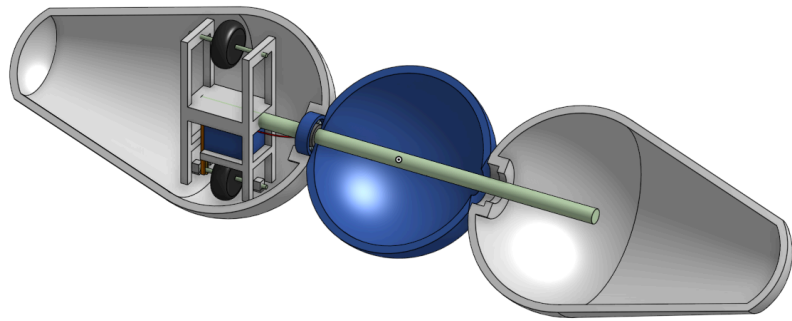


Fig. 23. Disseny 1. Model 3D

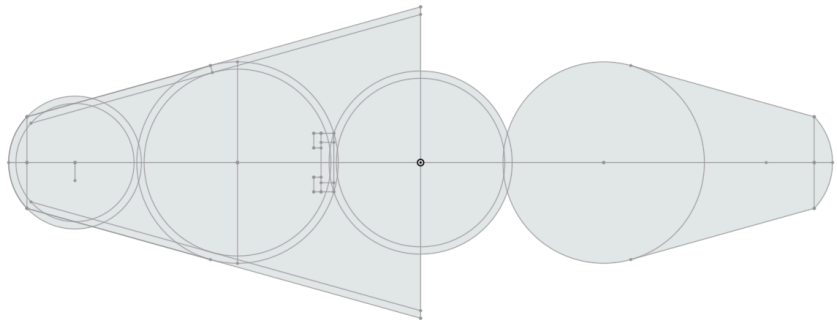


Fig. 24. Disseny 1, exterior

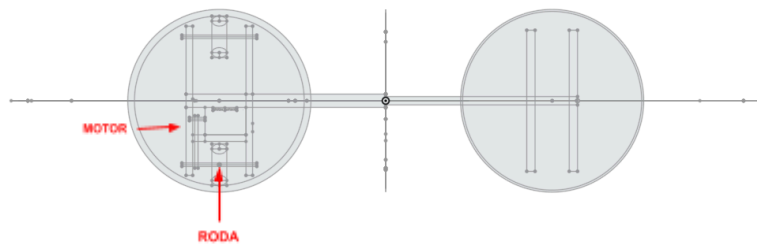


Fig. 25. Disseny 1, interior

- El segon disseny sorgeix per la necessitat de reduir la grandària. Aquest comptava amb un canvi estructural a l'interior del projecte, encara que l'esfera central continuava exercint la seua funció com a contenidor.

Es va realitzar una redistribució dels components per a acomodar cada peça a la limitada quantitat d'espai disponible. En conseqüència, el driver dels motors es va col·locar en un dels costats, ja que era la placa electrònica que ocupava menys espai. D'altra banda, els motors es van unir a l'esfera central mitjançant una estructura en forma de gàbia i es van connectar directament als cons laterals mitjançant una roda unida a pressió.

Amb la intenció d'evitar la fricció, es va implementar un sistema de rodaments que s'unia als cons i embolicava la gàbia del motor a l'interior. Això permetria un moviment més fluid i sense fricció.

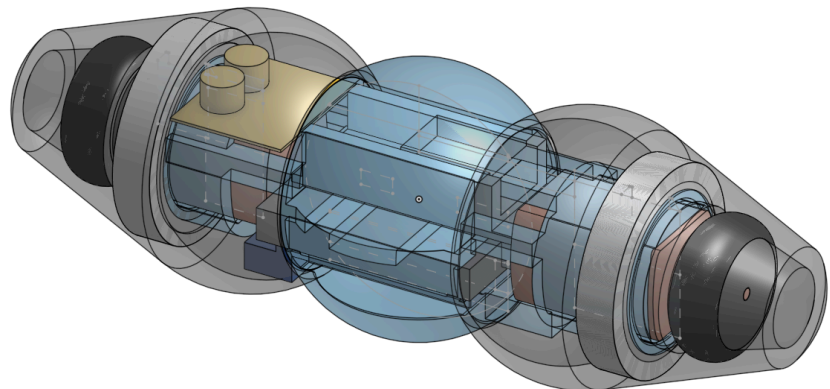


Fig. 26. Disseny 2. Model 3D

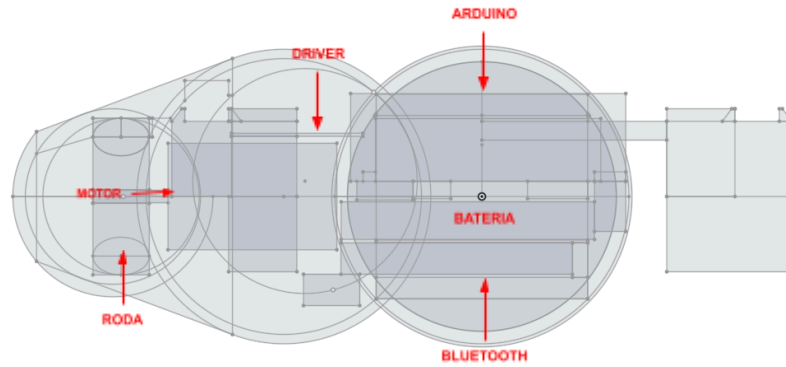


Fig. 27. Disseny 2

- L'últim disseny creat sota aquest mateix format va presentar mínimes variacions respecte a l'anterior, ja que simplement consistia en un increment de grandària amb l'objectiu d'integrar una nova bateria.

El tercer prototip comptava amb unes dimensions de 16 centímetres de llarg i 5,8 centímetres d'ample, conservant el mateix funcionament i distribució que el segon. A més, es van fer canvis en els cons per a ajustar-los millor als rodaments i així evitar la fricció que patia la segona versió. Paral·lelament, es va treballar per millorar aquells detalls que dificultaven el procés de muntatge, afegint un nou mètode d'unió per pressió.

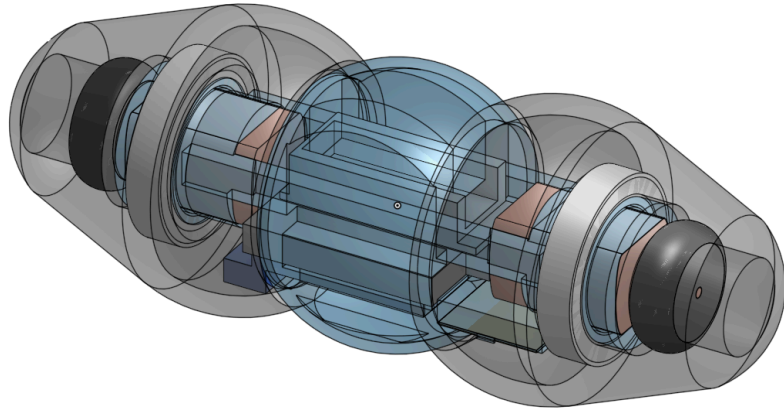


Fig. 28. Disseny 3. Model 3D

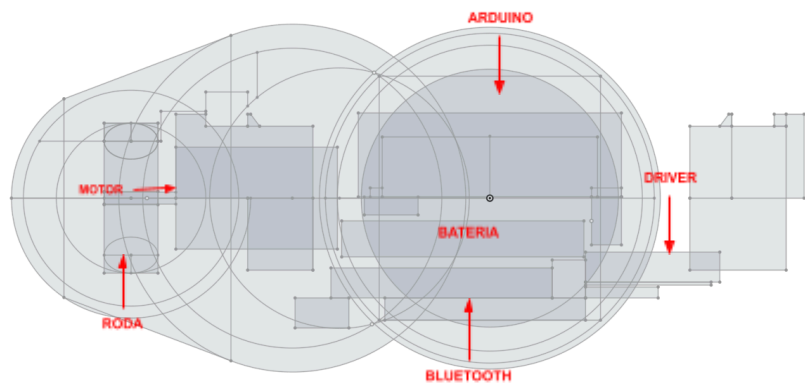


Fig. 29. Disseny 3

Després de la creació d'aquests dissenys i la posada en pràctica en els seus respectius prototips, es va concloure que la idea de basar-se en un disseny amb rodes exteriors a l'esfera alentia el moviment degut a la fricció dels cons amb l'esfera. Pel que es va optar per integrar tot el mecanisme dins d'aquesta.

- El primer model sota la nova idea comptava amb una única esfera de 16 cm de diàmetre, que contenia en el seu interior una estructura

impresa en plàstic PLA³, dissenyada per a servir com a nexa d'unió de tota la part electrònica del dispositiu.

L'estabilitat d'aquesta estructura es mantenia gràcies a un sistema de distribució de pes, que posicionava de manera constant les dues rodes motoritzades en la part inferior de l'esfera. D'altra banda, per a garantir un contacte permanent entre aquestes rodes i l'esfera, es va dissenyar una estructura que permetia la col·locació d'un rodament que exercia pressió contra l'esfera i, al seu torn, permetia una contínua rotació, minimitzant així els efectes de fricció i millorant l'eficiència general del dispositiu. La selecció d'aquesta solució es va basar en la rugositat del material de les rodes, ja que mentre que els rodaments, formats amb ferro o aliatges de metalls, proporcionaven una superfície més llisa que reduïa la fricció durant el gir, les rodes convencionals sovint s'elaboren amb goma o suro a fi d'obtenir un major nivell d'adherència.

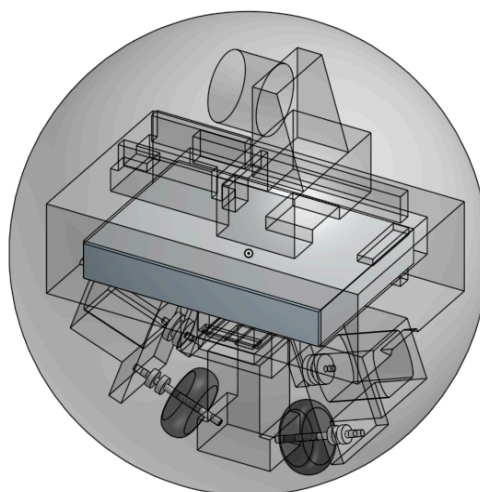


Fig. 30. Disseny 4. Model 3D

³PLA. àcid polilàctic d'un termoplàstic fet a base de dacsa o canya de sucre i que s'usa comunament en totes les impressores 3D del tipus FDM del mercat.

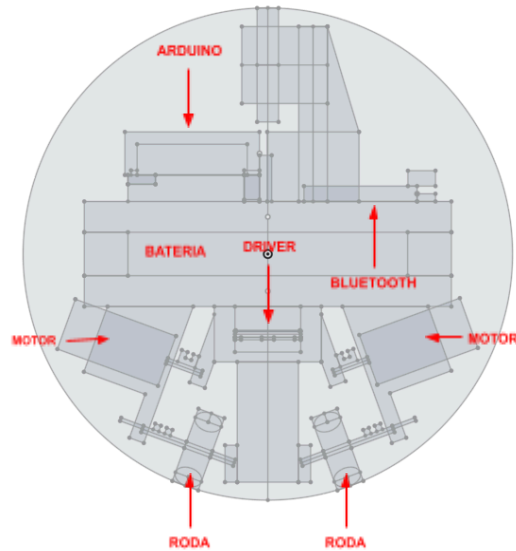


Fig. 31. Disseny 4

- Amb la finalitat de reduir la grandària de l'esfera i millorar alguns aspectes del disseny anterior es va fer un últim disseny. Per a aquest model es va emprar una esfera de 6 cm de diàmetre com a contenidor en la qual es va integrar una estructura impresa en TPU⁴.

L'estructura estava dissenyada per a mantindre unit tot el mecanisme sustentant el pes sobre tres rodes. Les rodes laterals eren les encarregades de moure l'esfera mentre que una roda esfèrica situada en el front de l'estructura ajudava a mantindre l'equilibri.

Per a les peces com el arduino, el driver, la bateria i el bluetooth es van dissenyar compartiments específics en l'estructura, on es pogueren encaixar a pressió, caragolar o bloquejar amb altres peces.

Per a mantindre les rodes unides a l'esfera en tot moment es van dissenyar unes barres amb molles que s'unien a una placa amb una bala, amb el que feia un efecte similar al de les suspensions d'un cotxe.

⁴TPU. Poliuretà termoplàstic. A més de la seua flexibilitat, el TPU també és molt durador i difícil de trencar. Pot absorbir bé els impactes, per la qual cosa és un filament ideal per a utilitzar si necessites un material resistent.

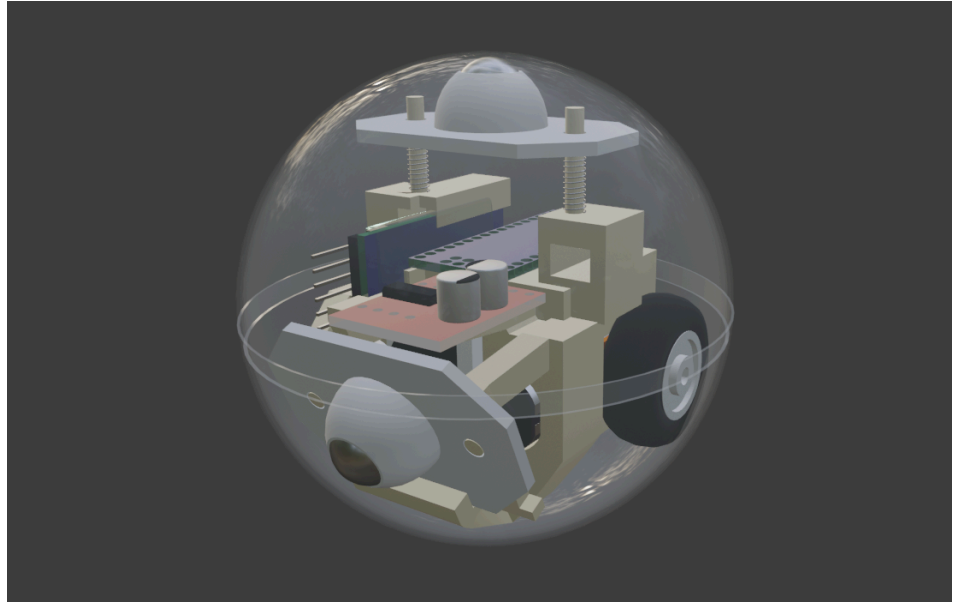


Fig. 32. Disseny 5. Model 3D

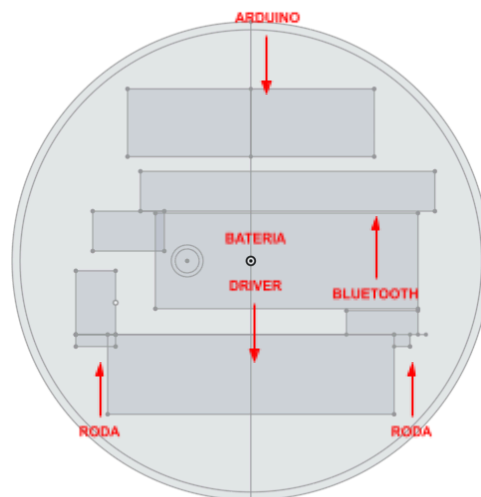


Fig. 33. Disseny 5

Paral·lel al procés de disseny d'esbossos i modelatges 3D, durant la preproducció va haver-hi un estudi dels components electrònics i mecànics.

Per a una major comprensió d'aquest procés cal conèixer el programari de programació utilitzat en el projecte.

Arduino

Arduino apareix en el 2005 com una plataforma de desenvolupament basada en maquinari i programari obert (*Open Hardware / Software*) que permet crear una gran varietat de projectes interactius a través dels seus diferents models de plaques de control. El seu principal característica és la gran comunitat en línia que sustenta el projecte, la seua facilitat d'ús, ja que ofereix un entorn de programació simple i una àmplia gamma de maquinari compatible.

Arduino, promou la filosofia Maker, la creació DIY (Do it yourself) i DIWO (Do it with others) de dispositius i sistemes electrònics personalitzats com a robots, aparells domèstics intel·ligents o sistemes d'automatitzacions, que es poden adaptar perfectament al món de l'art. La seua rellevància en l'àmbit de l'art electrònic i el disseny de la comunicació interactiva és i ha sigut increïble en els últims anys. Tant és així, que fins a la Facultat de Belles Arts de Sant Carles de la UPV li va atorgar la Medalla de Sant Carles de les arts al Projecte Arduino en la XX edició, l'any 2015, pel seu impacte i repercussió en la producció artística tecnològica contemporània.

La placa de desenvolupament més coneguda és el model Arduino UN, està composta per una placa de maquinari, que inclou un microcontrolador (Atmega328p), ports d'entrada/eixida i altres components, i un entorn de programació propi basat en llenguatge C/C++ (Arduino IDE), que permet als usuaris escriure i carregar codi en la placa.

En resum, Arduino és una plataforma de desenvolupament de sistemes electrònics i de programació, que ofereix una forma accessible i versàtil de crear projectes interactius i personalitzats. És una eina poderosa per a l'exploració creativa i l'aprenentatge pràctic de l'electrònica, fomentant la innovació i el desenvolupament tecnològic en diferents àmbits.

Diagrama tècnic

Un diagrama tècnic és una representació visual dissenyada per a ajudar a comprendre sistemes complexos, conceptes o processos.

Amb la finalitat de comprendre la configuració del sistema electrònic del projecte es va dissenyar un diagrama tècnic en la plataforma de prototipado col·laboratiu *Miro*⁵, programari web de disseny de diagrames. En aquest s'inclouïa les diferents connexions diferenciant per components, tipus de cablejat i el pin d'entrada i eixida de cada connexió.

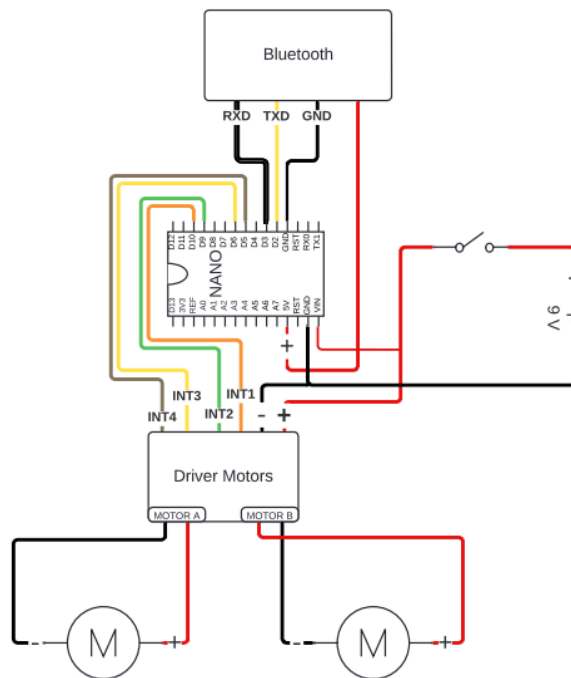


Fig. 34. Diagrama tècnic

En el disseny es troba una peça central que correspon al model "Arduino NANO V3"⁶ que conté també un xip Atmega328 integrat.

Es va triar aquest model de placa de desenvolupament en el projecte degut a la seua grandària, capacitat input/outputs i senzillesa en l'ús.

La placa es pot identificar en el diagrama tècnic pel fet que és la peça amb major nombre de pins, sent un total de 30, i per tindre escrit "NANO".

⁵ Miro. <https://miro.com/es/>

⁶ Arduino Nano V3. <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>

A la dreta de la placa es troba la bateria, la qual compta amb 1000 mAh i 9 volts per a proporcionar fins a 3 hores d'energia al projecte.

Es pot apreciar que aquesta transmet l'energia mitjançant les connexions roges (positiu) i negres (negatiu). A més en el costat positiu hi ha indicat un interruptor per a deixar que l'energia circule o detindre el funcionament.

El driver dels motors es troba just sota el arduino i per al desenvolupament del projecte s'ha optat per fer ús d'un Fasizi Dual Channel L298N amb un voltatge funcional de 5V.

La funció dels Drivers de motor és prendre un senyal de control de baixa corrent i després convertir-la en un senyal de corrent més alt que pugui conduir un motor.

Pel que els seus pins d'eixida es troben directament units als dos motors.

Finalment, en la part més alta del diagrama es troba el bluetooth. Encarregat de rebre el senyal captat per l'ordinador central i enviar-la a la placa base, a la qual es troba connectat i de la qual rep l'energia necessària per al seu funcionament.

Tabla de componentes

COMPONENTE	VOLTAJE	AMPERIOS
Pila alcalina	9 V	1000 mAh
Arduino NANO	5 V	19 mA - 40 mA
Bluetooth HC-05	3'3 V - 5 V	30 mA
Driver	5 V	< 1'5 A
Motor x2	6 V	120 mA

Diagrama d'interacció

Es basa en un sistema en loop de conseqüència, on cada acció es realitza només si abans ocorre un fet determinat.

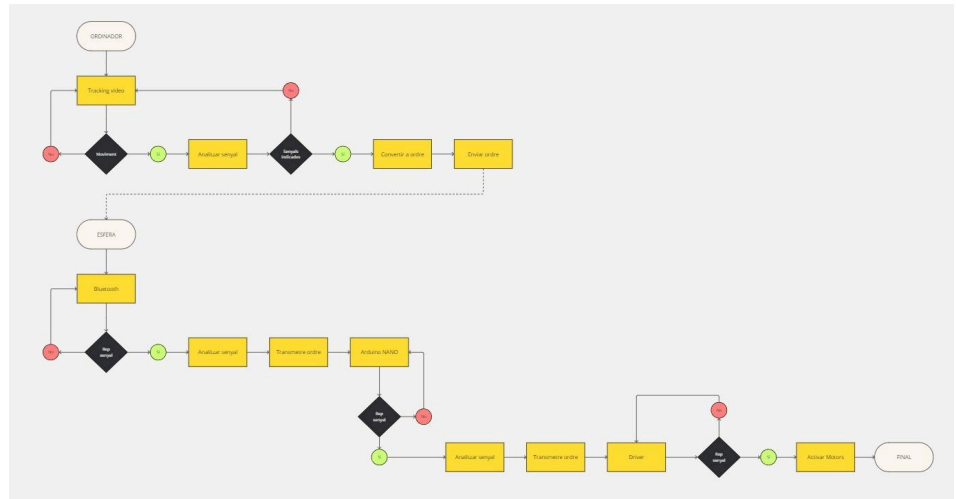


Fig. 35. Diagrama de interacció

PRODUCCIÓ

La fase de producció és aquella dirigida a la confecció de la proposta material. En aquesta fase s'estudien les maneres de portar a la realitat els dissenys creats en la Preproducció, buscant aquells materials que millor s'adapten a les necessitats del projecte per a poder crear prototips amb els quals percebre els errors de disseny que s'hagin pogut fer i solucionar-los.

Prototipado

Segons l'Acadèmia Valenciana de la Llengua (AVL), s'entén per prototip aquella “Primera màquina, instal·lació industrial, vehicle o aparell construït per a experimentar, en funcionament, les seues qualitats, característiques o rendiment, i per a efectuar les millores necessàries i resoldre les seues imperfeccions abans de començar la seua fabricació en sèrie”.

Amb aquesta definició, podem analitzar de forma més precisa la importància de la construcció d'una o més versions del prototip com un procés experimental, deductiu i qualitatiu de creació basada en la pràctica.

Importància dels prototips

L'anàlisi en els prototips ens permet examinar amb detall els aspectes rellevants i les possibilitats de millora del disseny i la implementació. A través d'aquest procés iteratiu, és possible identificar les fallades i les opcions de millora, així com analitzar la viabilitat i l'eficàcia de les solucions proposades.

Els prototips no sols permeten experimentar i provar diferents solucions de disseny, sinó que també exerceixen un paper fonamental en la comunicació de les idees i els conceptes del producte. Proporcionen una representació tangible, en el cas de prototips físics, que facilita la comprensió i avaluació de les propostes, tant per part del creador com per part de clients o altres interessats. Aquesta comunicació efectiva i palpable dels prototips, potència la presa de decisions durant tot el procés de desenvolupament del producte.

La construcció de prototips constitueix una eina fonamental per a assegurar una adequada planificació i execució del projecte, així com per a garantir la satisfacció dels objectius i requisits establerts.

Primer prototip

L'oportunitat de confeccionar aquest primer prototip va sorgir en 2022 de la mà de l'assignatura de MediaLab i Impressió 3D (6 ECTS) del Grau en Belles arts de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Amb l'inici del nou curs 2022/2023 l'assignatura va proposar la confecció d'un joguet innovador, que fora accessible per a totes les edats, amb arduino com a motor de programació i transferència de dades i la impressió 3D com a mètode d'unió de les peces.

A meitat de novembre de 2022 va començar la planificació de l'actual TFG, mentre que a la fi d'eixe mes va tindre inici el desenvolupament del primer prototip, de mà de l'assignatura de MediaLab.

El primer disseny creat per al prototip no complia amb les dimensions desitjades, ja que va ser concebut amb unes mesures de 45 cm de llarg i 11 cm d'ample, que excedien notablement la grandària desitjada. Aquesta discrepància en les grandàries comprometia la funcionalitat i estètica del disseny, posant en qüestió la seua idoneïtat per a l'ús previst. Generant així l'obligació d'haver de fer un redissenye sense haver arribat a imprimir el prototip.

Amb la proposta d'una reducció de grandària, va sorgir el segon disseny, que seguia la mateixa forma que el primer. Aquesta segona versió va experimentar una significativa disminució en les seues dimensions, establint-se en unes proporcions de 15 cm de llarg i 4,7 cm d'amplària.

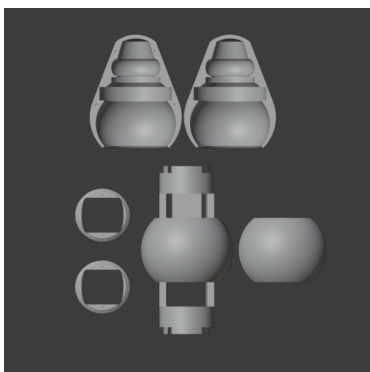


Fig. 36. Prototip 1

Amb aquest segon disseny és que va sorgir el primer prototip del projecte. Amb una coberta generada a partir d'impressió 3D dividida en 8 peces unides a pressió.

El desenvolupament del model 3D es va dur a terme per mitjà del programa multiplataforma de lliure accés *Blender*⁷ (Versió 4.1). Durant aquest procés es va adaptar el disseny 2D creat en OnShape per a aconseguir que tot encaixara en el seu lloc sense interferir amb la resta de peces.

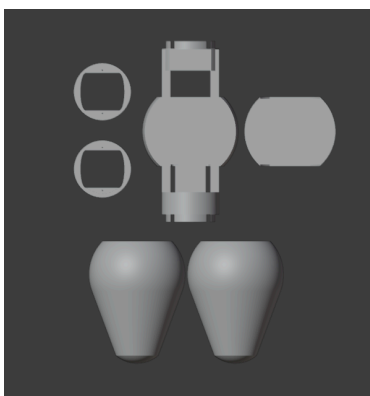


Fig. 37. Prototip 1

Una vegada finalitzat el modelatge en Blender, l'arxiu es va exportar al programari d'impressió 3D *Ultimaker Cura*⁸ (Versió 5.7.1), per mitjà d'un arxiu .stl (Stereolithography).

El programari, en aquest cas configurat per a una impressora *Artillery Genius* (2021), va servir per a indicar les característiques de la impressió (velocitat d'impressió, temperatura del filament, temperatura del llit, farcit de les peces,...). Aquestes característiques s'adaptaven al tipus de model i material, a causa de la complexitat de la peça la velocitat es va reduir a 55 mm/s amb el que va tardar aproximadament unes 18 hores. D'altra banda l'ús de filament

⁷ Blender: <https://www.blender.org/>

⁸ Ultimaker Cura: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/>

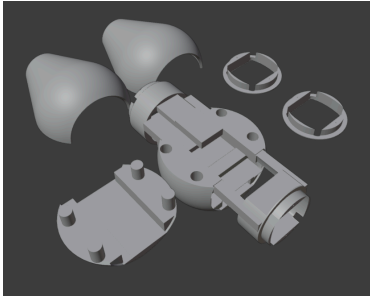


Fig. 38. Prototip 1

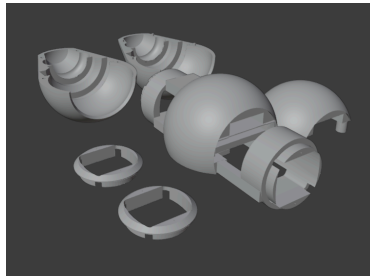


Fig. 39. Prototip 1

per a impressió PLA ve amb les indicacions d'ús de temperatura de filament aproximadament a 200° i lilit entre 20° i 60°.

Pel fet que no és necessari estar completament pendent durant la impressió, part del temps es va implementar en la preparació dels components interiors del projecte.

Amb la intenció d'evitar la fricció, es va implementar un sistema de rodaments que s'unia als cons impresos a pressió i embolicava la gàbia del motor a l'interior.

En l'esfera central hi havia 3 compartiments, un inferior on es trobava el mòdul Bluetooth, un central per a la bateria i un superior per al Arduino NANO.

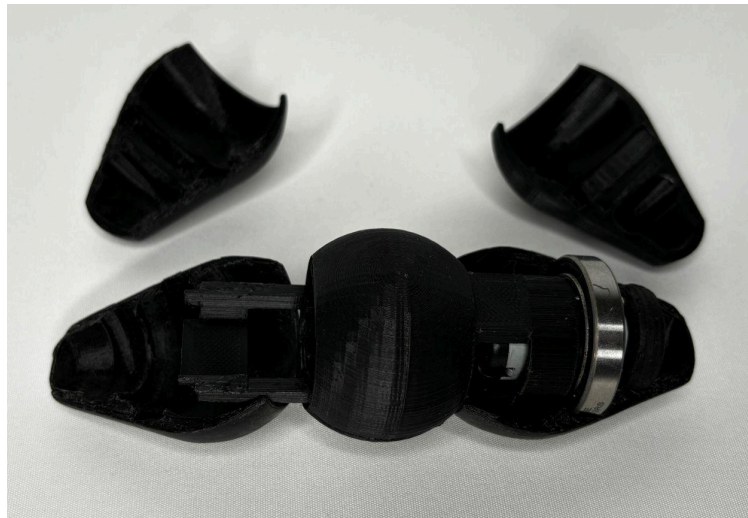


Fig. 40. Prototip 1



Fig. 41. Prototip 1



Fig. 42. Prototip 1

El prototip va servir per a revelar alguns problemes associats a la fricció, malgrat la incorporació dels rodaments. A més, es van detectar dificultats durant el procés de muntatge i una manca d'energia en la bateria. Per a solucionar aquests inconvenients, va ser necessari afegir una bateria amb major capacitat i potència. No obstant això, aquesta solució va implicar un augment en les dimensions del prototip, plantejant així nous reptes de disseny a abordar amb la finalitat de millorar la proposta en el seu conjunt.

Segon prototip

Per al segon prototip es va optar per canviar el tipus de filament d'impressió a un de tipus TPU, per a tractar que la flexibilitat d'aquest material ajudara al moment de col·locar cada peça.

La resta del model a penes va canviar d'aspecte respecte al primer prototip. Es va ampliar el buit entre l'esfera i els laterals i la grandària general del modelatge.

El mecanisme interior va seguir pràcticament igual, a excepció de la bateria que es va canviar a 2 portapilas dobles per a piles de botó model CR2032.



Fig. 43. Prototip 2

No obstant això, el nou disseny encara presentava problemes de fregament que interferien en el correcte funcionament de les rodes. Malgrat haver resolt alguns problemes de muntatge, aquests continuaven generant dificultats i obstacles en el seu rendiment global, per la qual cosa va ser necessari buscar solucions addicionals per a millorar aquest aspecte i assegurar un funcionament òptim de la proposta.

Tercer prototip

El nou prototip va sorgir a partir de l'anàlisi dels models anteriors, marcant una evolució significativa en el disseny general del projecte. Amb l'objectiu primordial de mitigar la fricció, es va proposar un model esfèric inspirat en la innovadora creació de Sphero.

El disseny comptava amb una major grandària que permetia integrar una bateria d'alt rendiment, amb un amperatge de 20000 mAh, superior en creixes al que tenien les bateries dels prototips anteriors, amb la clara intenció d'augmentar en gran escala el temps d'ús i la potència operativa.



Fig. 44. Prototip 3

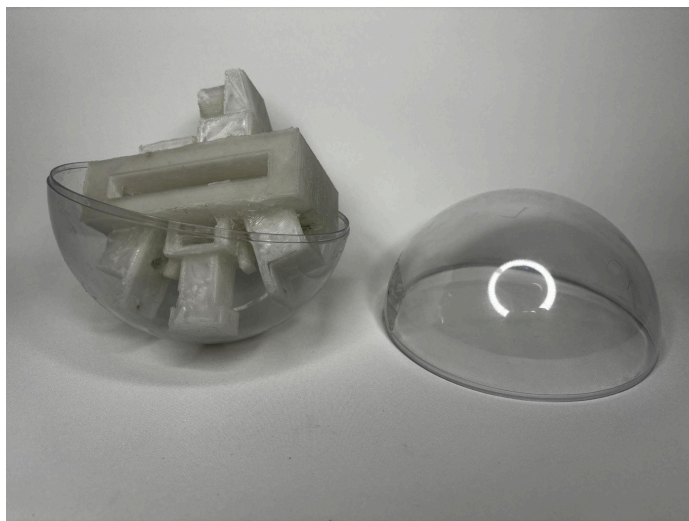


Fig. 45. Prototip 3

El procés de muntatge d'aquesta versió es va simplificar amb la incorporació de diverses cavitats dissenyades a mesura, que permetien l'ajust perfecte de cada mòdul maquinari sense cap dificultat. A més, aquesta metodologia facilitava la compra d'una esfera de plàstic amb les dimensions exactes requerides, evitant la necessitat de realitzar impressions addicionals a l'estructura interior.

A més, l'únic component del mecanisme que variava era la bateria, per la qual cosa els components de l'anterior prototip es van reutilitzar.

Aquest prototip, fruit de la seua semblança amb el projecte final, es va convertir en una potencial font de referència per a l'anàlisi dels possibles

problemes que van sorgir, com ara la falta de potència deguda a un voltatge inferior al necessari i la pèssima estabilitat del projecte. Encara que també va servir per a prendre referències d'aspectes interessants, entre els quals trobem el no tindre necessitat de connectar cables a través de tubs o xicotets espais com en els primers prototips o la facilitat d'encaix de l'esfera, que ja no depén al 100% de la impressió 3D.

Pese al fracàs que va suposar aquest prototip, el seu desenvolupament va contribuir a l'obtenció d'informació vital per a afrontar el disseny actual, enfortint la base per al futur desenvolupament del projecte.

Quart prototip

A partir de l'anàlisi del tercer prototip es va dissenyar una nova proposta. En aquesta ocasió es va reduir la grandària de l'esfera dràsticament, passant a mesurar a penes 60 mm de diàmetre. Amb aquesta mesura el que es tractava d'aconseguir era centralitzar el pes de l'esfera i al seu torn reduir-lo.

Per a aconseguir això es va dissenyar una nova estructura en Blender, destinada a emmagatzemar els components calculant l'espai al mil·límetre (disseny 5 - pág.33-34). Aquesta estructura es va imprimir en PLA.

A més la bateria utilitzada en l'anterior prototip va passar a ser de nou dos portapiles dobles de piles de botó CR2032 ja que per grandària la bateria no entrava i el voltatge era insuficient.

També es va produir un canvi als motors, ja que l'anterior model (ANGEEK 1,5 - 6V micro 130) no s'adaptava a la nova estructura, la qual necessitava un motor amb eix lateral. És per aquesta raó que es va adquirir el "Enjoyousth 1bx9a2p5-14" de 6V.



Fig. 46. Motor ANGEEK



Fig. 47. Motor ENJOYOUTH

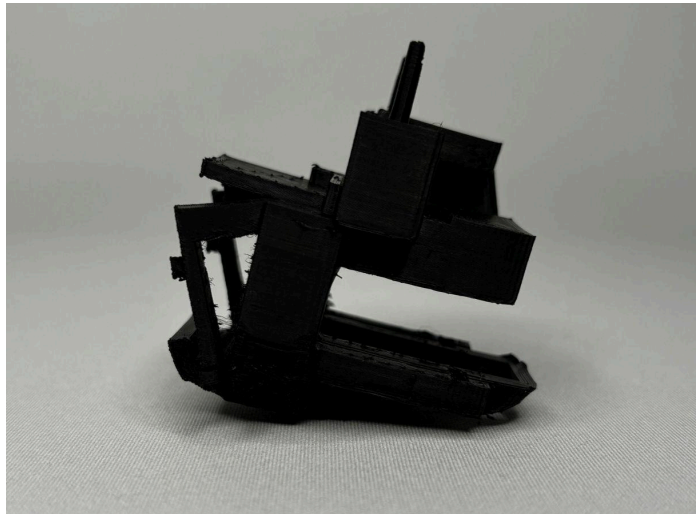


Fig. 48. Prototip 4

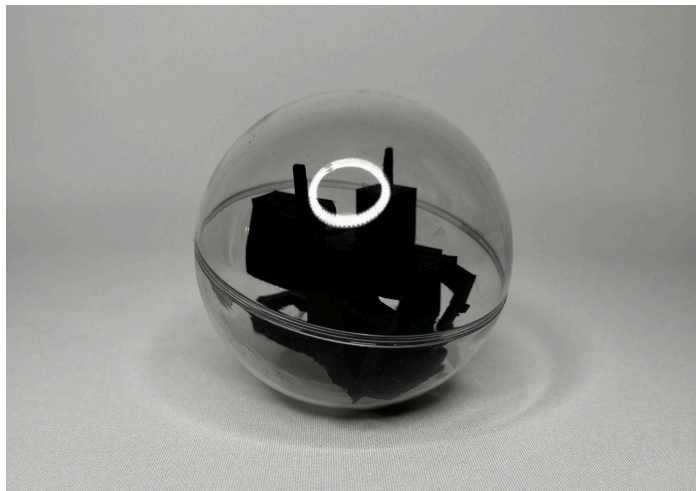


Fig. 49. Prototip 4

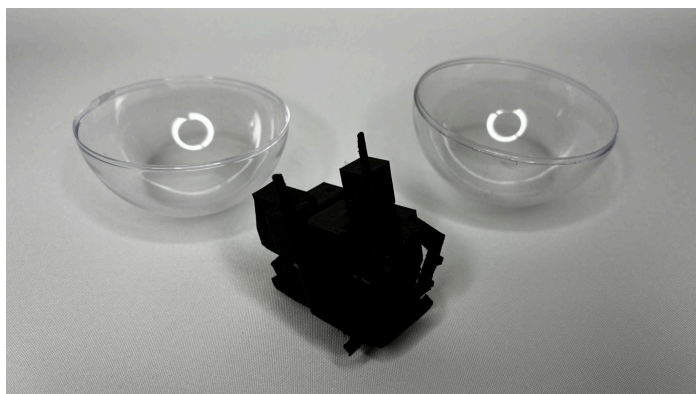


Fig. 50. Prototip 4

Aquest prototip va anar el primer a aconseguir funcionar segons el que es preveu. La seua estabilitat no era perfecta però permetia moure l'esfera en la direcció desitjada i sense quasi problemes. L'acoblament de les peces era una mica més complex que en el prototip 3 però encara així pel fet que tot tenia el seu lloc no suposava un gran problema.

Per contra la potència continuava sent una mica baixa ja que els 6V que generaven entre les 4 piles anaven justos i l'amperatge havia de ser d'uns 120 - 200 mAh, amb el que les bateries no arribaven als 20 minutos.

Prototipatge actual

La producció final del prototipatge funcional es pot consultar a aquest enllaç de video: <https://youtu.be/vs4KDmhlv1o>

Després d'analitzar la falta de potència i durabilitat del quart prototip es va decidir tractar de millorar aquests aspecte amb la finalitat d'aconseguir un model que s'adaptara millor a la proposta artística, ja que no era viable un projecte que cada 20 minutos s'haguera de canviar pel fet que la bateria no aguantava més.

Per a això es van buscar opcions que permeteren no modificar més el disseny, tractant de mantindre tot allò que era funcional, és a dir: l'estructura; els motors; el driver; el bluetooth; l'Arduino NANO.

D'aquesta manera es va decidir integrar una pila alcalina de 9V i 1700 mAh, dotant a la proposta del voltatge necessari i d'una autonomia de més de 3 hores.

Pel fet que la nova bateria ocupava 1mm més d'ample que els portapiles es va optar per imprimir l'estructura de nou, però aquesta vegada en filament TPU la flexibilitat del qual permetria a la pila encaixar a pressió.

Finalment, durant el procés de prova es va detectar que l'estabilitat de l'esfera s'havia vist afectada i ara l'esfera es trontollava de manera que repercutia a la funcionalitat. Per aquesta raó se li van aplicar uns contrapesos que ajudaven a mantindre l'equilibri.

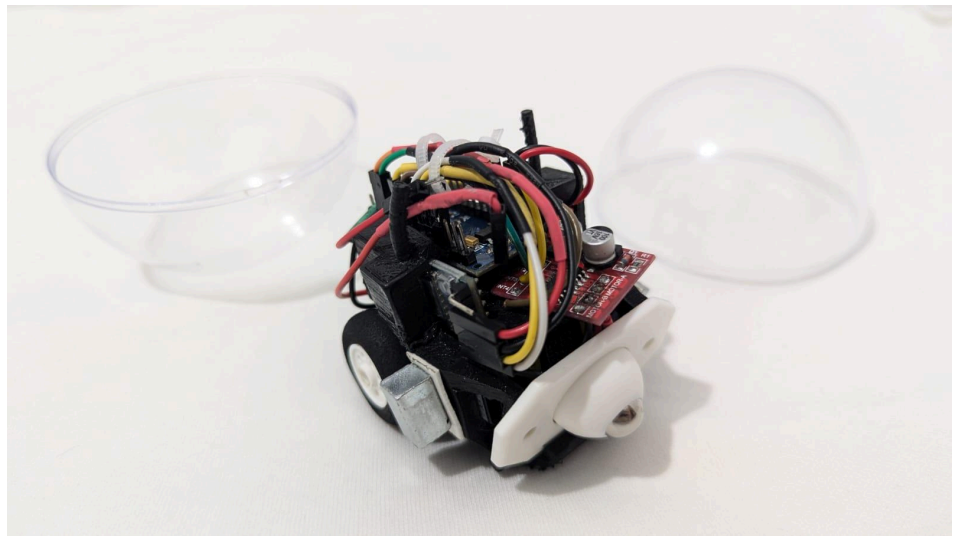


Fig. 51. Prototip actual

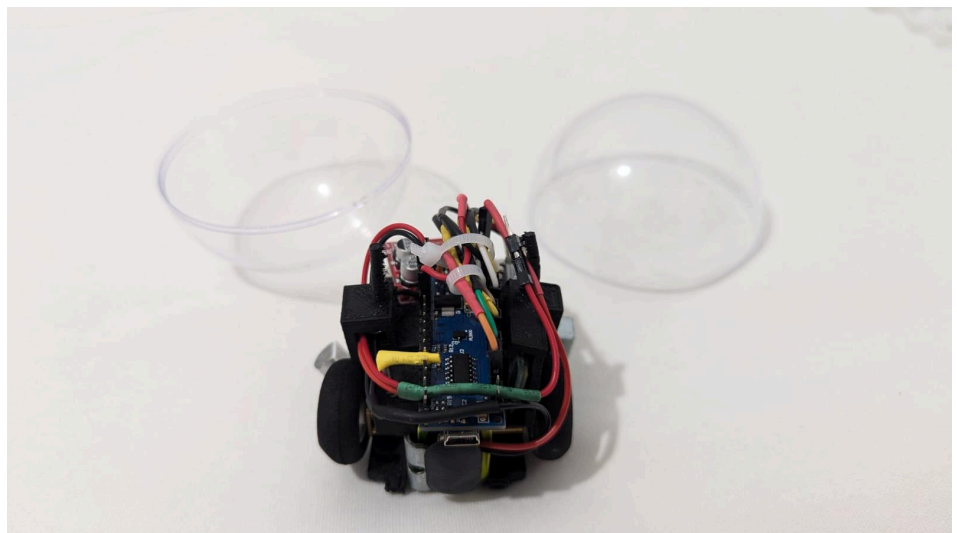


Fig. 52. Prototip actual



Fig. 53. Prototip actual

Per a poder moure tot correctament i que el prototip compte amb el menor nombre d'errors possibles el projecte consta de dos programes connectats per bluetooth que compten amb unes ordres indicades.

El primer programa, escrit en p5.js, treballa en l'ordinador i és l'encarregat de rebre la informació del tracking vídeo i enviar les ordres que corresponguen al bluetooth.

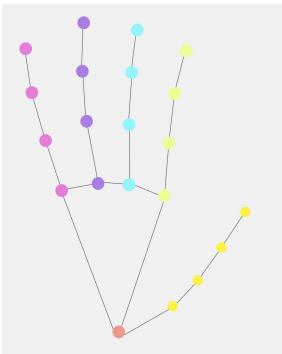
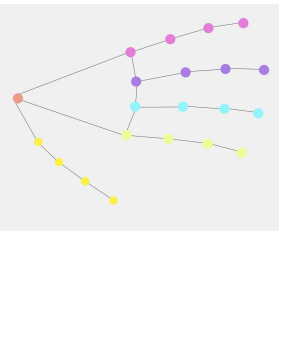

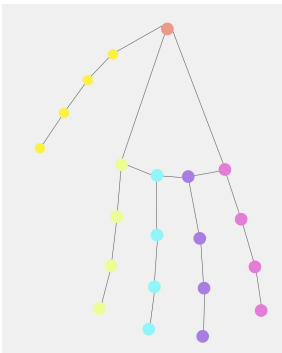
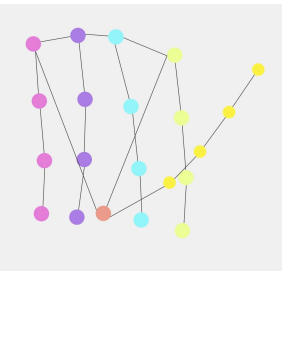
El segon, escrit en Arduino, es troba en l'esfera, en la placa Arduino NANO. La seua funció és llegir les instruccions que rep el bluetooth al qual està connectat i transmetre-les al driver.

Tot aquest procés és possible per mitjà dels codis escrits en tots dos programes.

Programació fonamental

El primer pas consisteix a realitzar un reconeixement de l'estat de la imatge que capta la càmera, vigilant qualsevol alteració en aquesta i notificant els canvis que es troben.

D'aquesta manera el codi compta amb 6 posicions establides:

		
<p>1) Mà amb els dits dalt de la palma.</p>	<p>2) Mà amb els dits a la dreta de la palma.</p>	<p>3) Mà amb els dits a l'esquerra de la palma.</p>
		
<p>4) Mà amb els dits baix de la palma.</p>	<p>5) Mà amb els dits a l'altura de la palma.</p>	<p>6) Cap detecció de mà.</p>

Cadascuna d'aquestes posicions correspon a una instrucció concreta que es transmetrà a Arduino mitjançant senyal Bluetooth.

En ordre aquestes es corresponen a: Front (F), Right (R), Left (L), Back (B), Stop (S), Stop (SD).

Perquè p5.js siga capaç d'enviar aquestes ordres s'identifica mitjançant variables de posició quina és la zona en la qual es troben els punts dels dits respecte als de la palma.

Assignant un valor inicial de 0 en els eixos "X" e "Y" de la palma (p) i els dits (m), el qual variarà depenent d'on es troben en la cambra com si d'un gràfic es tractara.

A més també s'assignen dues variables nomenades "Z" e "I". Aquestes variables tenen la funció de marcar els límits de distància i temps necessaris perquè el programa no envie dos senyals diferents a l'uníson.

La variable Z compta amb un valor de 75 punts, i és l'encarregada de mesurar l'espai que ha d'haver-hi entre "P" i "M".

La variable I compta amb un valor de 5 loops, i la seua funció és evitar que s'envie el senyal abans que hagen transcorregut 5 loops complets en els quals siga el mateix senyal.

Per tant si mx té un valor inferior a px el programa identificarà que la mà es troba adreçada a l'esquerra, per la qual cosa transmetrà un senyal via bluetooth al Arduino amb l'ordre "L" i al seu torn produirà l'àudio esquerra.mp3.

Aquesta ordre serà emesa fins que varie la correspondència de mx respecte px o my respecte py.

En cas de no detectar la mà es detindrà l'enviament d'ordres ja que Arduino només executa el moviment el nombre de vegades que rep aquesta ordre, amb el que si no rep res es deté.

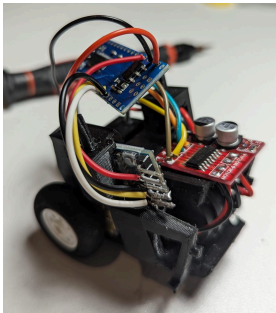


Fig. 56. Part prototip

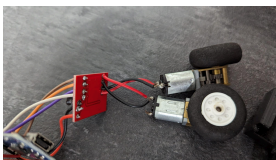


Fig. 57. Part prototip

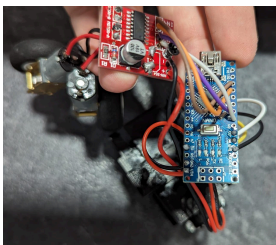


Fig. 58. Part prototip

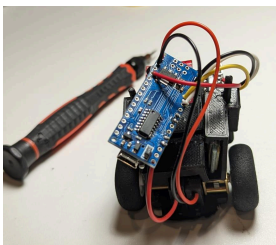


Fig. 59. Part prototip

L'últim pas correspon a l'execució de les ordres, pas per al qual s'ha gravat un codi de programació en una placa Arduino Nano que li permet analitzar la informació que rep a través d'un dispositiu bluetooth hc-05 i transmetre aquesta informació com ordres al driver que controla els motors, ja que l'esfera només compta amb dos motors com a executors d'ordres del mecanisme. Aquest pas, a part de la part de programació, compta amb un procés de soldadura i electrònica, ja que conté la relació de connectivitat entre els pins, qualsevol ordre que es vulga transmetre ha de ser enviada a través de la placa Arduino Nano i per a poder fer això és necessari l'ús de cables.

Perquè la informació pugui circular correctament en un projecte produït en Arduino és necessari identificar abans els canals d'entrada i eixida, això implica generar una relació entre els diferents pins amb els quals compta la placa i els mòduls als quals es connecta. Per tant, si es connecta el bluetooth als pins digitals 2 i 3 al programa és necessari identificar que aquests pins corresponen al bluetooth.

Amb tots els pins identificats, en la programació només queda marcar com ha de reaccionar cada mòdul respecte a la informació que rep per a moure l'esfera seguint el traç que es dibuixa en el recipient.

El codi identifica al mòdul bluetooth com un receptor, de manera que li permet transmetre la informació que rep de p5.js a la placa de Arduino perquè la processe.

A l'inici del codi s'identifiquen els pins que corresponen a cada dispositiu, amb el que es diferencien els dos motors.

En tractar-se de motors bidireccionals, cal indicar que pin servirà en cadascun per a donar el senyal de moviment frontal i qual complirà amb el moviment de revers.

Amb això s'identifica per mitjà de 4 variables, dues per motor, els pins als quals corresponen:

- El motor 1 A correspon al pin 5 del Arduino NANO i genera un moviment frontal.
- El motor 1 B correspon al pin 6 del Arduino NANO i genera un moviment revers.
- El motor 2 A correspon al pin 9 del Arduino NANO i genera un moviment frontal.
- El motor 2 B correspon al pin 10 del Arduino NANO i genera un moviment revers.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

// CONEXIONES PARA EL BLUETOOTH.
int bluetoothTx = 2;
int bluetoothRx = 3;

SoftwareSerial bluetooth(bluetoothTx, bluetoothRx);

// MOTOR 1.
int Motor1A = 5;
int Motor1B = 6;

// MOTOR 2.
int Motor2A = 9;
int Motor2B = 10;

void setup ()
{
  bluetooth.begin(115200);
  bluetooth.print("$$$");
  delay(100);
  bluetooth.println("U,9600,N");
  bluetooth.begin(9600);

  pinMode(Motor1A, OUTPUT );
  pinMode(Motor2A, OUTPUT );
  pinMode(Motor1B, OUTPUT );
  pinMode(Motor2B, OUTPUT );

  digitalWrite( Motor1A, LOW );
  digitalWrite( Motor2A, LOW );
  digitalWrite( Motor1B, LOW );
  digitalWrite( Motor2B, LOW );
}

int flag1 = -1;
int flag2 = -1;

void loop()
{
  if(bluetooth.available())
  {
    char toSend = (char)bluetooth.read();
    if(toSend == 'S')
    {
      flag1 = 0;
      flag2 = 0;

      digitalWrite( Motor1A, LOW);
      analogWrite( Motor1B, LOW);

      digitalWrite( Motor2A, LOW);
      analogWrite( Motor2B, LOW);
    }
  }
  if( toSend == 'F')
  {
```

Fig. 60. Codi Arduino

D'aquesta manera si el senyal que rep el Arduino NANO a través del bluetooth es correspon a la lletra "F", aquest enviarà un senyal per corrent als motors 1 A i 2 A mitjançant els seus corresponents pins gestionats pel driver.

Al moment en què el Arduino NANO deixi de rebre cap senyal, els motors es detindran.

Codi de programació

El codi de programació javascript del sketch de P5js i el desenvolupat en llenguatge C amb el IDE de Arduino es pot consultar en l'annex del treball, desglossat i amb comentaris en cada bloc.

Esbós de possible instal·lació física

La idea és un espai molt simple, minimal i sintètic on l'usuari s'enfronta directament a l'esfera com a element mòbil en l'espai i la cambra (paret) com a control. La computadora es trobaria després de la paret, en una suposada cambra de màquines oculta.

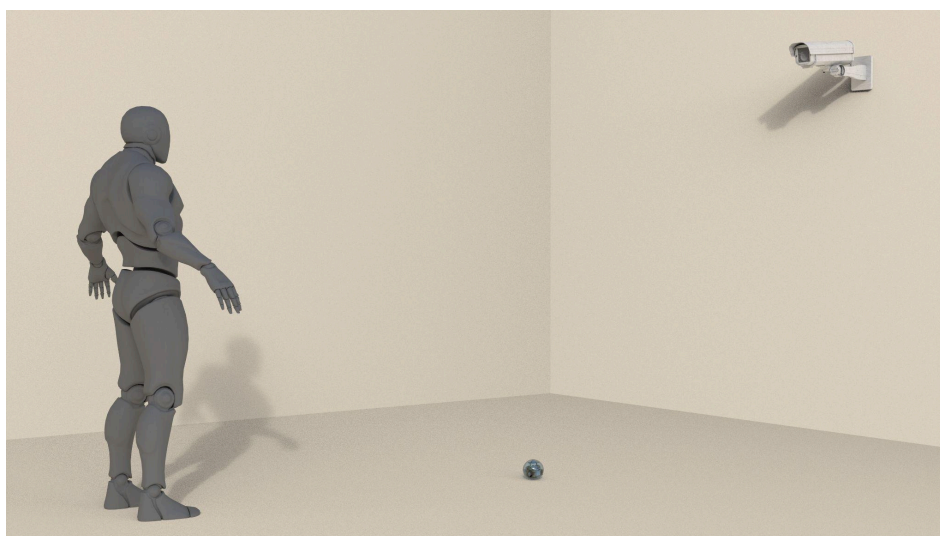


Fig. 61. Simulació instal·lació

Vídeo prototip

La producció final del prototip funcional es pot consultar en aquest enllaç de vídeo: <https://youtu.be/vs4KDmhlv1o>

CONCLUSIONS

Basant-se en els objectius marcats en el segon apartat del projecte, el procés de desenvolupament d'aquest ha aconseguit complir amb pràcticament tots els indicats.

S'ha desenvolupat una proposta artística interactiva que fa ús de la tecnologia electrònica i digital, sent l'esfera motoritzada el centre d'acció de l'obra i un component completament creat sobre la base de la tecnologia.

S'ha complit amb el desenvolupament d'un programa de tracking vídeo amb el qual controlar el projecte per mitjà d'instruccions captades a l'espectador.

Durant el procés d'estudi es van identificar diversos referents artístics i del gènere de ciència-ficció cinematogràfica els quals van servir d'inspiració de cara al desenvolupament del prototip.

El desenvolupament del dispositiu rodant autònom robotitzat es veu reflectit en l'esfera motoritzada, creada a partir de l'aplicació dels coneixements tècnics apresos d'impressió 3D i electrònica sumats a aquells coneixements estudiats durant el desenvolupament amb la finalitat de conèixer més de les tecnologies necessàries per a la seua creació.

Tractant-se d'un projecte creat a mà, s'ha fet ús de la filosofia DIY, duent a terme cada part del desenvolupament del prototip.

El seguiment d'un cronograma il·lustrat amb la finalitat de gestionar el temps ha suposat tot un repte degut a les complicacions sorgides durant el desenvolupament unit als factors externs relacionats amb l'espai, els materials i les capacitats inicials de l'alumne.

Respecte a la relació del treball amb els objectius de desenvolupament sostenible (ODS) de l'agenda 2030, es pot trobar en els annexos la fitxa emplenada i justificada

L'elecció de les assignatures del mòdul d'escultura cursades durant el grau de BBAA i, en concret, haver estudiat MediaLab i Impressió 3D han suposat un gran pes en el meu desenvolupament acadèmic i personal.

El present TFG és una mostra del profund respecte i admiració que he desenvolupat per la fusió de l'Art i la Tecnologia.

Al llarg de la meua formació, he pogut experimentar de primera mà com la tecnologia pot expandir les possibilitats de l'art, oferint noves eines i mètodes per a l'expressió creativa i he après a valorar el procés d'investigació i de desenvolupament del qual precisa.

L'ús de tècniques com la impressió 3D ha transformat el meu enfocament de l'art contemporani. Permetiendome tindre una percepció més clara de com vull continuar formant-me com artista.

D'ara en avant buscaré incrementar els meus coneixements entorn del modelatge 3D aprenent nous softwares i analitzant altres projectes, continuar aprenent nous llenguatges de programació i softwares de desenvolupament de codi, confeccionar noves propostes artístiques per mitjà de la tecnologia, i, sobretot, continuaré aprenent d'altres artistes i tractaré de créixer a partir d'ells i el que aprenga.

FONTS UTILITZADES

Bibliografia

- Brzezinski, Z (1973), *La era tecnotrónica*, Paidós, Biblioteca Mundo Moderno.
- Eco, U (1990), *Obra abierta*, Ariel
- Parrika, J (2021), *Una geología de los medios*. Caja negra.
- Popper, F (1989), *Arte, acción y participación. El artista y la creatividad de hoy*. Akal
- Zielinski, S (2011). *Arqueología de los medios hacia el tiempo profundo de la visión y la audición técnica*. Universidad de los Andes.

Webgrafia

Articles online

- Walter, B (1931). A short history of photography. Screen, volumen 13, pàg. 5 - 26. [Article de revista]
https://melbournecameraclub.org.au/wp-content/uploads/2020/07/Benjamin_Walter_1931_1972_A_Short_History_of_Photography.pdf

Exposicions

- Exposición: *Luz y movimiento. La vanguardia cinética en París. 1955 - 1975*. (2019) [Texto, ficha y resumen en línea]
<https://www.alicante.es/es/noticias/luz-y-movimiento-vanguardia-cinetica-paris-1955-1975>
- Exposición: *The responsive Eye*. MOMA (1965) [Texto, ficha y resumen en línea]
https://www.moma.org/interactives/moma_through_time/1960/the-responsive-eye/

Projectes online

- Sánchez, C y Gelardo, E. (2016). *¿Cómo funciona BB-8?* [Página Web]
<https://howbb8works.com/es/>
- Sphero, INC. (2010). *Sphero* [Página Web de empresa]
<https://sphero.com/>

Portals de dades

- Instituto Nacional de Estadística (INE). *Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en los Hogares (2022)*.
https://www.ine.es/prensa/tich_2022.pdf
- Oficina Estadística de la Unión Europea (Eurostat). *Households - level of internet access (2024)*.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_ci_in_h/default/table?lang=en

Tutorials tècnics

- TDK-Lambda (1996). *Digikey - Calculador de vida útil de una batería* [Calculadora Web de amperaje]
<https://www.digikey.es/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>
- Dademuch Connection (26 de abril 2018). *Driver de motor DC – Electrónica de potencia* [Comentario en foro en línea]
[https://dademuchconnection.wordpress.com/2018/04/26/driver-de-motor-dc-electronica-de-potencia/#:~:text=Un%20controlador%20\(Driver\)%20de%20motor,que%20pueda%20conducir%20un%20motor.](https://dademuchconnection.wordpress.com/2018/04/26/driver-de-motor-dc-electronica-de-potencia/#:~:text=Un%20controlador%20(Driver)%20de%20motor,que%20pueda%20conducir%20un%20motor.)

- Canal Adam Savage's Tested. (1 de octubre de 2015). *How the BB-8 Sphero Toy Works* [Archivo de vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=5FHtcR78GA0>

Tesis

- Samdanis, M. (2016). *The impact of new technology on art*. In J. Hackforth-Jones, I. Robertson (Eds.), *Art Business Today: 20 Key Topics*, London: Lund Humphries, pp. 164-172
https://www.researchgate.net/profile/Marios-Samdanis/publication/328733881_The_Impact_of_New_Technology_on_Art/links/5bdf504892851c6b27a78ba5/The-Impact-of-New-Technology-on-Art.pdf
- Burnham, J. (1980). *Art and technology: The panacea that failed*. The Myths of Information ed. Kathleen Woodward Coda Press
https://www.etantdonnes.com/SystemsArt/Burnham_Panacea_1980.pdf
- Fedyukovskaya, M.; Fedyukovsky, A.; Shatalov, D. St.; Petersburg Polytechnic University (2022). *Movement Technology: From Kinetic Art to Digital Art*
https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Fedyukovsky/publication/355645572_Movement_Technology_From_Kinetic_Art_to_Digital_Art/links/61dfdb8c323a2268f99f7a1d/Movement-Technology-From-Kinetic-Art-to-Digital-Art.pdf

ÍNDEX DE FIGURES

- **Fig. 1. pag. 7.** Fragment de Diagrama de Gantt creat en Miro.
- **Fig. 2. pag. 8.** Gràfic de l'evolució de l'equipament TIC en llars extret de l'estudi de seguiment de l'INE.
- **Fig. 3. pag. 9.** Gràfic de l'accés a internet en llars d'Europa extret de l'estudi de seguiment de l'Eurostat.
- **Fig. 4. pag. 10.** Bicycle Wheel - Duchamp, 1913.
- **Fig. 5. pag. 10.** Rotary Glass Plates - Rose Sélavy, 1920.
- **Fig. 6. pag. 11.** Conjunt d'imatges de l'exhibició "Le Mouvement", 1955.
- **Fig. 7. pag. 13.** Esquema de Frank Popper sobre l'evolució de l'art, 1989.
- **Fig. 8. pag. 14.** Choe O-Ram - Round Table, 2022.
- **Fig. 9. pag. 14.** Choe O-Ram - Round Table, 2022.
- **Fig. 10. pag. 15.** Charlotte Triebus - Spheres, 2020.
- **Fig. 11. pag. 15.** Charlotte Triebus - Spheres, 2020.
- **Fig. 12. pag. 15.** Mariela Yeregui - Proxemia, 2005.
- **Fig. 13. pag. 16.** Karina Smigla-Bobinski - ADA, 2011.
- **Fig. 14. pag. 17.** Random International - Rain Room, 2012.
- **Fig. 15. pag. 17.** Daniel Rozin - Wave Mirror, 2007.
- **Fig. 16. pag. 17.** Daniel Rozin - Square Wooden Mirror, 1999 - 2020.
- **Fig. 17. pag. 18.** Model BB-8, Com funciona BB-8?.
- **Fig. 18. pag. 19.** Model BB-8, Com funciona BB-8?.
- **Fig. 19. pag. 20.** Sphero
- **Fig. 20. pag. 22.** Nano-bot de Big Hero 6, 2014.
- **Fig. 21. pag. 24.** Esbós A.
- **Fig. 22. pag. 25.** Esbós B.
- **Fig. 23. pag. 27.** Disseny 1. Model 3D, OnShape.
- **Fig. 24. pag. 27.** Disseny 1, exterior. OnShape.
- **Fig. 25. pag. 27.** Disseny 1, interior. OnShape.
- **Fig. 26. pag. 28.** Disseny 2. Model 3D, OnShape.
- **Fig. 27. pag. 29.** Disseny 2. OnShape.
- **Fig. 28. pag. 30.** Disseny 3. Model 3D, OnShape.

- **Fig. 29. pag. 30.** Disseny 3. OnShape.
- **Fig. 30. pag. 31.** Disseny 4. Model 3D, OnShape.
- **Fig. 31. pag. 32.** Disseny 4. OnShape.
- **Fig. 32. pag. 33.** Disseny 5. Model 3D, Blender.
- **Fig. 33. pag. 33.** Disseny 5. OnShape.
- **Fig. 34. pag. 35.** Diagrama tècnic creat en Miro.
- **Fig. 35. pag. 37.** Diagrama d'interacció creat en Miro.
- **Fig. 36. pag. 39.** Prototip 1. Model 3D, Blender.
- **Fig. 37. pag. 39.** Prototip 1. Model 3D, Blender.
- **Fig. 38. pag. 40.** Prototip 1. Model 3D, Blender.
- **Fig. 39. pag. 40.** Prototip 1. Model 3D, Blender.
- **Fig. 40. pag. 40.** Fotografia prototip 1.
- **Fig. 41. pag. 40.** Fotografia prototip 1.
- **Fig. 42. pag. 41.** Fotografia prototip 1.
- **Fig. 43. pag. 42.** Fotografia prototip 2.
- **Fig. 44. pag. 43.** Fotografia prototip 3.
- **Fig. 45. pag. 43.** Fotografia prototip 3.
- **Fig. 46. pag. 44.** Motor ANGEER.
- **Fig. 47. pag. 44.** Motor ENJOYOUTH.
- **Fig. 48. pag. 45.** Fotografia prototip 4.
- **Fig. 49. pag. 45.** Fotografia prototip 4.
- **Fig. 50. pag. 45.** Fotografia prototip 4.
- **Fig. 51. pag. 47.** Fotografia prototip 5.
- **Fig. 52. pag. 47.** Fotografia prototip 5.
- **Fig. 53. pag. 48.** Fotografia prototip 5.
- **Fig. 54. pag. 49.** Captura del codi escrit en p5.js.
- **Fig. 55. cap. 49.** Captura de la pàgina p5.js amb el programa actiu.
- **Fig. 56. pag. 52.** Fotografia connexions electròniques prototip actual.
- **Fig. 57. pag. 52.** Fotografia connexions electròniques prototip actual.
- **Fig. 58. pag. 52.** Fotografia connexions electròniques prototip actual.
- **Fig. 59. pag. 52.** Fotografia connexions electròniques prototip actual.
- **Fig. 60. pag. 53.** Captura del codi escrit en Arduino.
- **Fig. 61. pag. 54.** Simulació instal·lació.

ANNEXES

Relació del treball amb els objectius de desenvolupament sostenible.

ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				
ODS 2. Hambre cero.				
ODS 3. Salud y bienestar.				
ODS 4. Educación de calidad.				
ODS 5. Igualdad de género.				
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				
ODS 12. Producción y consumo responsables.				
ODS 13. Acción por el clima.				
ODS 14. Vida submarina.				
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.



**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster:
Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.**

Codi de programació P5js

Realitzat en el editor online: <https://editor.p5js.org/>

```
let handpose;
let detections = [];
let canvas;
let video;
// variables sonido
let sodreta;
let soesquerra;
let sodavant;
let sodarrere;
let soparar;
let ultimso = "";

// variable por serialPortName
let serialPortName = 'COM8';
//let serialPortName = '/dev/cu.Arduino';

let px=0;
let py=0;
let mx=0;
let my=0;

let movimiento="S";

let Z=75;
let Y=5;

// variable de temporitzador
let tempsL=0;
let tempsR=0;
let tempsF=0;
let tempsB=0;
let tempsS=0;
```

```

let tempsSD=0;

function setup(){
  canvas = createCanvas(640, 480);//3D mode!!!
  canvas.id("canvas");

  video = createCapture(VIDEO);
  video.id("video");
  video.size(width, height);

  sodreta = loadSound('Sons/dreta.mp3');
  soesquerra = loadSound('Sons/esquerra.mp3');
  sodavant = loadSound('Sons/davant.mp3');
  sodarrere = loadSound('Sons/darrere.mp3');
  soparar = loadSound('Sons/parar.mp3');

  const options = {
    flipHorizontal: false, // boolean value for if the video should be flipped, defaults to
false
    maxContinuousChecks: Infinity, // How many frames to go without running the
bounding box detector. Defaults to infinity, but try a lower value if the detector is
consistently producing bad predictions.
    detectionConfidence: 0.8, // Threshold for discarding a prediction. Defaults to 0.8.
    scoreThreshold: 0.75, // A threshold for removing multiple (likely duplicate)
detections based on a "non-maximum suppression" algorithm. Defaults to 0.75
    iouThreshold: 0.3, // A float representing the threshold for deciding whether boxes
overlap too much in non-maximum suppression. Must be between [0, 1]. Defaults to
0.3.
  }

  handpose = ml5.handpose(video, options, modelReady);
  colorMode(HSB);

  // create instance of p5.SerialPort
  serial = new p5.SerialPort();

```

```

// print version of p5.serialport library
console.log('p5.serialport.js ');
//console.log('p5.serialport.js ' + serial.version);

// Assuming our Arduino is connected, open the connection to it
serial.open(serialPortName); // open a serial port

console.log(serial.isConnected());
}

function modelReady() {
  console.log("Model ready!");
  handpose.on('predict', results => {
    detections = results;

    // console.log(detections);
  });

  select('#status').html('Model Loaded');

}

function draw(){
  clear();
  //In webgl mode, origin of the coordinate setted to centre.
  //So I re-positioned it to top-left.
  //translate(-width/2, -height/2);

  if(detections.length > 0){
    drawLines([0, 5, 9, 13, 17, 0]); //palm palma
    drawLines([0, 1, 2, 3, 4]); //thumb pulgar
    drawLines([5, 6, 7, 8]); //index finger índice
    drawLines([9, 10, 11, 12]); //middle finger medio
    drawLines([13, 14, 15, 16]); //ring finger anular
  }
}

```

```

drawLines([17, 18, 19, 20]); //pinky meñique

drawLandmarks([0, 1], 0); //palm base // a: b: c:color
drawLandmarks([1, 5], 60); //thumb
drawLandmarks([5, 9], 120); //index finger
drawLandmarks([9, 13], 180); //middle finger
drawLandmarks([13, 17], 240); //ring finger
drawLandmarks([17, 21], 300); //pinky

//console.log(mx,my);
if(mx < px-Z){
  movimiento="L";
  tempsL++;
}
else{
  tempsL=0
}
if(tempsL===Y){
  serial.write("L");
  if(ultimso === "L"){
  }
  else{
    soesquerra.play();
    ultimso = "L";
  }
}
if(mx > px+Z){
  movimiento="R";
  tempsR++;
}
else{
  tempsR=0
}
if(tempsR===Y){
  serial.write("R");
  if(ultimso === "R"){
  }
  else{

```

```

    sodreta.play();
    ultimso = "R";
}
}
if(my < py-Z){
    movimiento="F";
    tempsF++;
}
else{
    tempsF=0
}
if(tempsF===Y){
    serial.write("F");
    if(ultimso === "F"){
    else{
        sodavant.play();
        ultimso = "F";
    }
}
if(my > py+Z){
    movimiento="B";
    tempsB++;
}
else{
    tempsB=0
}
if(tempsB===Y){
    serial.write("B");
    if(ultimso === "B"){
    else{
        sodarrere.play();
        ultimso = "B";
    }
}
if(abs(my-py)<Z){
    if(abs(mx-px)<Z){

```



```

    movimiento="S";
    tempsS++;
  }}
  else{
    tempsS=0
  }
  if(tempsS===Y){
    serial.write("S");
    if(ultimso === "S"){
      else{
        soparar.play();
        ultimso = "S";
      }
    }
    console.log(movimiento);
  } else{
    if(movimiento!="SD"){
      movimiento="SD";
      tempsSD=0;
    }
    else{
      tempsSD++;
    }
    if(tempsSD===Y){
      serial.write("S");
      console.log("sensedetección");
    }
  }
}

function drawLandmarks(indexArray, hue){
  noFill();
  strokeWeight(10); //grosor punto
  for(let i=0; i<detections.length; i++){
    for(let j=indexArray[0]; j<indexArray[1]; j++){
      let x = detections[i].landmarks[j][0];

```

```

    let y = detections[i].landmarks[j][1];
    let z = detections[i].landmarks[j][2];
    stroke(hue, 40, 255);
    point(x, y);
    if(j===1){
        px=x;
        py=y;
    }
    if(j===12){
        mx=x;
        my=y;
    }
}
}
}

function drawLines(index){
    stroke(0, 0, 255);
    strokeWeight(3);
    for(let i=0; i<detections.length; i++){
        for(let j=0; j<index.length-1; j++){
            let x = detections[i].landmarks[index[j]][0];
            let y = detections[i].landmarks[index[j]][1];
            let z = detections[i].landmarks[index[j]][2];

            let _x = detections[i].landmarks[index[j+1]][0];
            let _y = detections[i].landmarks[index[j+1]][1];
            let _z = detections[i].landmarks[index[j+1]][2];
            line(x, y, _x, _y);
        }
    }
}

```

Codi de programació en Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

// CONEXIONES PARA EL BLUETOOTH.

int bluetoothTx = 2;
int bluetoothRx = 3;

SoftwareSerial bluetooth(bluetoothTx, bluetoothRx);

// MOTOR 1.

int Motor1A = 5;
int Motor1B = 6;

// MOTOR 2.

int Motor2A = 9;
int Motor2B = 10;

void setup (){
    bluetooth.begin(115200);
    bluetooth.print("$$$");
    delay(100);
    bluetooth.println("U,9600,N");
    bluetooth.begin(9600);

    pinMode( Motor1A, OUTPUT );
    pinMode( Motor2A, OUTPUT );
    pinMode( Motor1B, OUTPUT );
    pinMode( Motor2B, OUTPUT );

    digitalWrite( Motor1A, LOW );
```

```

        digitalWrite( Motor2A, LOW );
        digitalWrite( Motor1B, LOW );
        digitalWrite( Motor2B, LOW );
    }

    int flag1 = -1;
    int flag2 = -1;

    void loop(){
        if(bluetooth.available()){
            char toSend = (char)bluetooth.read();
            if(toSend == 'S'){

                flag1 = 0;
                flag2 = 0;

                digitalWrite( Motor1A, LOW);
                analogWrite( Motor1B, LOW);

                digitalWrite( Motor2A, LOW),
                analogWrite( Motor2B, LOW);

            }
            if( toSend == 'F' || toSend == 'G' || toSend == 'I'){
                if (flag1 != 1){
                    // AQUESTS FAN QUE ES MOGA CAP AL FRONT.
                    flag1 = 1;
                    digitalWrite( Motor1A, HIGH);
                    analogWrite( Motor1B, 0 );
                    digitalWrite( Motor2A, HIGH);
                    analogWrite( Motor2B, 0 );
                }
            }
            if(toSend == 'B' || toSend == 'H' || toSend == 'J'){
                if(flag1 != 2){

```

```

// AQUESTS FAN QUE ES MOGA CAP A ENRERE.

        flag1 = 2;
        digitalWrite( Motor1B, HIGH);
        analogWrite( Motor1A, 0 );
        digitalWrite( Motor2B, HIGH);
        analogWrite( Motor2A, 0 );

    }
}
if(toSend == 'L' || toSend == 'G' || toSend == 'H'){
    if(flag2 != 1){
// AQUESTS FAN QUE GIRE A L'ESQUERRA.

        flag2 = 1;
        digitalWrite( Motor2B, HIGH);
        analogWrite( Motor2A, 0 );
        digitalWrite( Motor1A, HIGH);
        analogWrite( Motor1B, 0 );

    }
}
else
if(toSend == 'R' || toSend == 'I' || toSend == 'J'){
    if(flag2 != 2){
// AQUESTS FAN QUE GIRE A LA DRETA.

        flag2 = 2;
        digitalWrite( Motor1B, HIGH);
        analogWrite( Motor1A, 0 );
        digitalWrite( Motor2A, HIGH);
        analogWrite( Motor2B, 0 );

    }
}
else{
    if(flag2 != 3) {
        flag2 = 3;
        digitalWrite ( Motor2A, LOW);
        analogWrite ( Motor2B, LOW);
        digitalWrite ( Motor2B, LOW);
        analogWrite ( Motor2A, LOW);
    }
}

```

}
}
}
}