

PASOS QUE DEJAN HUELLA

El ser humano como generador de energía en el
ámbito arquitectónico deportivo



Autor:

Cristina Díaz Morales

Tutor:

Víctor Cano Ciborro

Proyecto:

Trabajo de fin de grado

Año:

2023/ 2024

Titulación:

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Universidad:

Universidad Europea de Canarias

RESUMEN

Desde el interés por la capacidad de transformar la energía cinética – movimiento–, en energía útil, limpia y sostenible, se investiga acerca de pavimentos capaces de transformar en energía eléctrica la energía que produce el cuerpo humano con sus pisadas. Esta investigación, más allá de la cuantificación de pasos y la implementación de baldosas en pequeñas zonas de la ciudad, aborda el concepto del cuerpo humano como generador de energía. En consecuencia, se toma como hipótesis de partida el potencial que tiene un cuerpo haciendo deporte, lo que nos lleva a la siguiente pregunta de investigación: ¿cuántos pasos de jugadores y jugadoras de voleibol practicando su deporte, y durante cuánto tiempo, serían necesarios para generar la energía suficiente capaz de iluminar ese mismo pabellón donde juegan? Con base a esto, se desarrolla una metodología basada en tres puntos: la cartografía de movimientos y desplazamientos para saber las zonas de la pista más frecuentadas; la construcción de un prototipado de pavimento mediante sensores piezoeléctricos para cuantificar la energía de cada pisada y, finalmente, el cálculo de determinadas situaciones de partido y entrenamiento, con el fin de determinar la viabilidad del cuerpo humano como generador de energía cinética capaz de ser convertida en energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE

Piezoelectricidad, sensores, sensores piezoeléctricos, pasos, pisadas, generar, energía, energía cinética, electricidad, iluminación, desplazamientos, movimientos, pavimento, suelo, baldosas, voleibol, deporte, pabellón

ABSTRACT

Driven by the interest in the ability to transform kinetic energy – movement – into useful, clean, and sustainable energy, research is being conducted on pavements capable of converting the energy produced by the human body with each step into electrical energy. This research, beyond quantifying steps and implementing tiles in small areas of the city, addresses the concept of the human body as an energy generator. Consequently, the starting hypothesis is the potential of a body engaging in sports, leading us to the following research question: how many steps taken by volleyball players, and for how long, would be necessary to generate enough energy to illuminate the same pavilion where they play? Based on this, a methodology is developed based on three points: mapping movements and displacements to identify the most frequented areas of the court; constructing a pavement prototype with piezoelectric sensors to quantify the energy of each step; and finally, calculating certain game and training situations to determine the feasibility of the human body as a kinetic energy generator capable of being converted into electrical energy.

KEY WORDS

Piezoelectricity, sensors, piezoelectric sensors, steps, footsteps, generate, energy, kinetic energy, electricity, lighting, displacements, movements, pavement, floor, tiles, volleyball, sport, pavilion

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	LA ENERGÍA DEL MOVIMIENTO.....	10
	Pasos como generadores de energía.....	12
	Piezoelectricidad.....	19
	Aplicación deportiva.....	23
3	PROTOTIPANDO Y CARTOGRAFIANDO PASOS QUE DEJAN HUELLA.....	26
	Captador de energía.....	30
	La representación de lo efímero.....	40
4	ESTUDIO Y CONFIRMACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	59
	Situación 1: Entrenamiento de una hora.....	60
	Situación 2: Entrenamiento semanal.....	68
	Situación 3: Jugada de partido.....	74
	Cálculo iluminación y baterías.....	104
	Cálculo de horas de iluminación y número de pasos.....	107
5	CONCLUSIONES.....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

1

INTRODUCCIÓN

El objeto de esta investigación se basa en la generación de energía a través del movimiento realizado en la práctica deportiva-energía cinética que se transforma en electricidad-, haciendo posible su uso para la iluminación del lugar. Garantizando la utilización y aplicación de este método de energía renovable, no sólo concienciamos a los usuarios de la necesidad y las ventajas de implementar en el día a día este tipo de sistemas con los que frenar la contaminación, sino que se implica de manera directa al usuario mediante el aprovechamiento de su movimiento corporal. Movimiento no contaminante capaz de generar energía limpia y perfectamente utilizable, siendo dichos desplazamientos el medio necesario e indispensable para el fin de este sistema de generación de energía.

Partiendo de ejemplos ya existentes instalados en el entorno urbano, además de métodos específicos utilizados en el mundo del deporte para medir la fuerza de los movimientos, se procede a la creación y construcción de una solución de pavimento capaz de garantizar de manera óptima y eficiente la acción deportiva sobre él, siendo los sensores piezoeléctricos los elementos principales del mismo, y actuando como captadores de energía. Debido a la característica pulsante de la fuerza ejercida por las pisadas, haciendo que no sea constante, el pavimento necesitará de unas baterías que almacenen dicha energía al tiempo que se hace uso de la instalación. Mediante un inversor se realizará la conexión entre las baterías y la instalación de iluminación del recinto.

Para el correcto desarrollo de la investigación, además del diseño de un pavimento, será necesario comprender cómo el deporte habita el espacio, por tanto se realizarán análisis de movimientos donde se representarán los desplazamientos realizados por los jugadores, utilizando como objeto principal de estudio el voleibol. Para las medidas y dimensiones del pabellón se utilizará como referencia el pabellón municipal Pablos Abril ubicado en Santa Cruz de Tenerife para determinar, a partir de una edificación existente, el número de canchas de voleibol que admite el edificio como la altura libre de la zona de juego del mismo, entre otros aspectos.

Desarrollados todos estos apartados se incluirán, posteriormente, una serie de situaciones mediante cálculos con el fin de cuantificar la cantidad de energía que se es capaz de generar y utilizar para la iluminación del espacio.

2

LA ENERGÍA DEL MOVIMIENTO



Pasos como generadores de energía

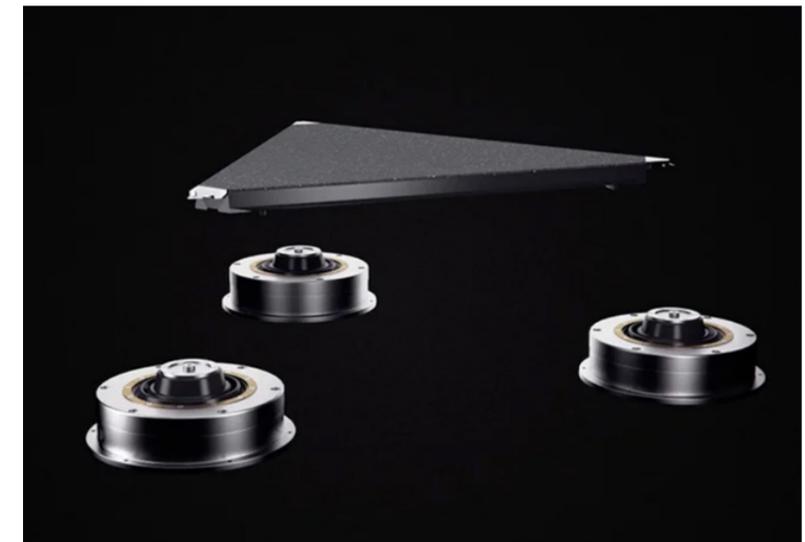
El aprovechamiento del movimiento y los desplazamientos humanos actualmente está considerado una de las fuentes de energía renovable que se implementará en las ciudades del futuro, junto con la bioluminiscencia ⁽¹⁾, la energía de la lluvia ⁽²⁾, o fuentes ya conocidas y utilizadas como la eólica y la solar. A pesar de parecer un recurso complejo y futurista, lleva en proceso de investigación y experimentación desde hace casi dos décadas, presentando numerosas instalaciones en funcionamiento hoy en día alrededor de todo el mundo. Podríamos decir que los precursores y creadores de las “baldosas generadoras de energía” son las empresas Pavegen y Energy Floors, que pasaremos a analizar a continuación:

Pavegen: Cada paso genera una conexión poderosa

La empresa Pavegen fue creada por Laurence Kemball-Cook, el cual, motivado por su deseo de contribuir a la erradicación del cambio climático, gana un puesto en una importante empresa europea con el reto de encontrar soluciones de energías renovables destinadas al alumbrado público. Observando la cantidad de personas que transitaban y utilizaban la estación de tren Victoria de Londres, 75 millones de visitantes al año, llegó a la conclusión de que existía la posibilidad de aprovechar la energía del movimiento humano para transformarla en electricidad, de este modo surgen las baldosas Pavegen.

Estos suelos inteligentes se caracterizan por su sencillez, ya que están formados únicamente por tres componentes: un generador electromagnético, un mosaico o baldosa de composite, y personas. Pero ¿cómo funciona?, el peso de los pasos sobre los mosaicos crea un movimiento vertical de entre 5 a 10 mm, el movimiento vertical comprime el generador electromagnético y este crea un movimiento giratorio con el que produce entre 2 a 4 julios de energía limpia. (Figuras 1,2 y 3)

Dichas baldosas se emplean para dos tipos de instalaciones distintas,



(1). Bioluminiscencia: propiedad que presentan algunos seres vivos en los que a partir de una reacción química son capaces de producir luz, que se puede utilizar para la iluminación de las calles por la noche

(2). Energía de la lluvia: se transforman los impactos que generan las gotas de lluvia en electricidad.

Figuras 1, 2 y 3. Despiece de los elementos que conforman el sistema de baldosas. Generador electromagnético, baldosa triangular de composite y personas.

instalaciones pasivas e instalaciones activas. La instalación pasiva se centra en la integración de este suelo técnico en la rutina cotidiana de las personas. Los mosaicos se instalan en zonas peatonales de mucho tránsito, como pueden ser las estaciones de tren, los aeropuertos, centros comerciales, etc. La energía generada contribuye a la iluminación LED del lugar, al mobiliario urbano inteligente o al riego de paredes vegetales. (Figura 4).

Por otra lado, la instalación activa permite al usuario participar en la generación de energía de forma más consciente, dinámica e interactiva, transformando la energía de los pasos en recompensas y datos controlados a través de una aplicación de móvil, motivando a los paseantes a hacer uso de la instalación, a modo de actividad de ocio y lugar de relación, además de contribuir con el medioambiente al mismo tiempo. (Figuras 5 y 6). Desde 2009, Pavegen ha desarrollado e instalado más de 200 proyectos en 37 países centrándose principalmente en tres sectores, las ciudades inteligentes, las experiencias y colaboraciones con marcas, y los centros de transporte. (Figuras 7,8 y 9).

Figura 4. (Esquina superior izquierda) Ejemplo de aplicación de una instalación pasiva.

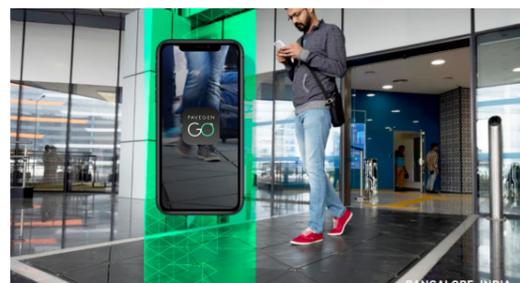
Figura 5. (Central lado izquierdo) Ejemplo de aplicación de una instalación activa.

Figura 6. (Esquina inferior izquierda) Ejemplo de aplicación de una instalación activa.

Figura 7. (Esquina superior derecha) Sector: ciudades inteligentes. Intervención en el muelle de Hong Kong.

Figura 8. (Central lado derecho) Sector: experiencias y colaboraciones con marcas. Intervención en Trafalgar Square con la empresa Ford para el Ride London 2023.

Figura 9. (Esquina inferior derecha) Sector: centros de transporte. Intervención en una estación de transportes en Bedford, Inglaterra.



Energy Floors: Creando consciencia sobre las energías renovables

Energy Floors se funda en 2008 con el desarrollo de *The Dancer*, el primer club de baile sostenible del mundo. La idea principal, y con la que comenzó el proyecto, era que los asistentes a una fiesta pudieran disfrutar mientras ayudaban a impulsar el club con la energía generada con sus pisadas al bailar. Hoy en día se dirigen a tres tipos diferentes de clientes, *El Bailarín (The Dancer)*, *El Jugador (The Gamer)* y *El Caminante (The Walker)*.

The Dancer constituye pistas de baile inteligentes. Al caminar, bailar o saltar, el usuario genera de entre 5 a 35 vatios de potencia, la electricidad generada se utiliza para alimentar las luces LED del propio suelo, aunque también se puede utilizar para alimentar una aplicación con la que recopilar datos. Al igual que para los suelos de Pavegen, se utiliza un sistema electromecánico que transforma el movimiento vertical, realizado al pisar, en movimiento giratorio que acciona un generador. (Figuras 10,11 y 12).



The Gamer fue diseñado para incorporarlo en los patios de los colegios como forma de aprendizaje lúdico. Los módulos contienen 12 juegos, principalmente de matemáticas, que se juegan corriendo, saltando y caminando sobre él. A través de estos juegos los niños mejoran sus habilidades cognitivas y motoras, además de fomentar la consciencia sostenible y el socializar y jugar entre ellos.

Los módulos combinan sensores, paneles solares y luces LED interac-

Figura 10. (Izquierda) Esquema del funcionamiento de las baldosas.

Figuras 11 y 12. (Centro y derecha) Ejemplo de aplicación del pavimento *The Dancer* en el Festival de Coachella de Estados Unidos de la mano de la Casa Heineken.

tivas y programables. Uniendo 9 unidades solares se pueden llegar a generar hasta 315 Wp (Vatios pico), mientras que los sensores convierten el módulo en una pantalla interactiva. Se pueden almacenar en la nube todos los datos obtenidos por la producción de energía para que las escuelas que los utilizan los puedan visualizar y hacer competiciones entre ellas. Actualmente, esta instalación se encuentra integrada en más de 50 colegios holandeses. (Figuras 13,14 y 15).

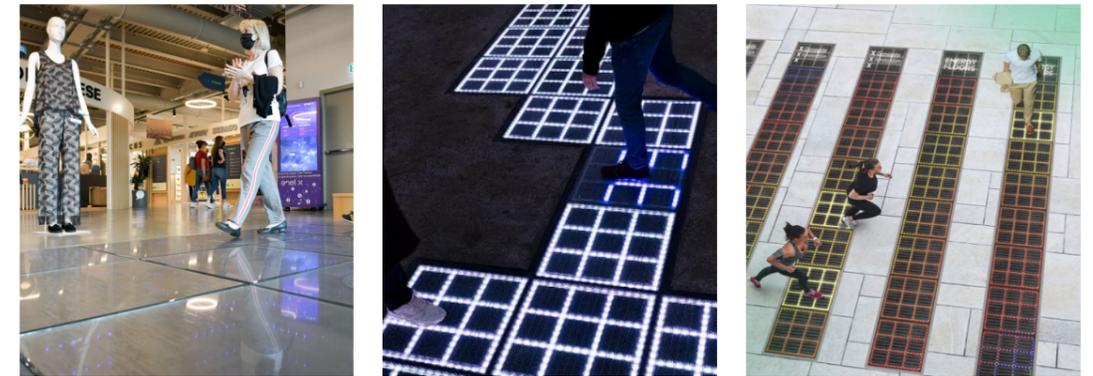


The Walker propone soluciones de suelos innovadores para ciudades inteligentes, se instalan en espacios urbanos con el fin de hacer visible la generación de energía renovable. La instalación del caminante se admite tanto para exteriores como para interiores, o incluso se puede hacer a medida. Al igual que The Gamer, The Walker utiliza no sólo la energía de las pisadas sino también la energía solar en las instalaciones realizadas en el exterior. La energía generada es devuelta a la red local o se almacena en baterías y se utiliza para el encendido de las luces, para cargar los vehículos eléctricos u otros aparatos electrónicos. Este pavimento, al igual que el de The Dancer está cubierto por una capa de vidrio pisable además de contener luces LED.

Cada módulo de The Walker es de 60 x 60 centímetros, cuenta con 9 sensores y gracias a sus paneles solares los usuarios pueden llegar a generar 35 Wp (Vatios pico). Como el resto de pavimentos, se pueden almacenar y utilizar los datos que genera el movimiento de las personas, y en el caso de la integración del pavimento para las ciudades sostenibles, como es el ejemplo de The Walker, el suelo se puede programar para que interactúe con los ciclistas y caminantes que lo pisén mediante los LEDs que tiene integrados. (Figuras 16,17 y 18)

Figura 13. (Izquierda) Ilustración de uno de los juegos instalados en The Gamer.

Figuras 14 y 15. (Centro y derecha) Ejemplo de aplicación del pavimento The Gamer en escuelas infantiles holandesas.



Figuras 16, 17 y 18. (Izquierda, centro y derecha) Ejemplo de aplicación del pavimento The Walker en la ciudad.

Figuras 19 y 20. Centro de energía diseñado y utilizado para los conciertos de la gira mundial Music Of The Spheres de Coldplay.



Tal es el impacto que han generado estos dos pavimentos receptores y transformadores de la energía mecánica, empleada para andar, en energía eléctrica que se han realizado estimaciones y comparaciones de la cantidad de energía que generaría cada suelo si se incorporara en las zonas más transitadas de las inmediaciones de la universidad de Valencia. Pero obteniendo, en comparación con el alto coste de los módulos y la instalación de ambos sistemas, beneficios considerablemente bajos tanto en el ámbito energético como en el económico, haciendo poco eficiente su incorporación en las zonas de estudio (Barrio, s. f.). Otro ejemplo de la influencia de la captación de energía cinética, concretamente de la baldosas de la empresa Energy Floors, lo encontramos en la reciente incorporación de este tipo de pavimento en los conciertos del grupo británico Coldplay, los cuales interrumpieron su actividad musical en 2019 con el fin de investigar acerca de sistemas con los que garantizar conciertos 100% sostenibles mediante la integración de diferentes métodos de energías renovables como paneles fotovoltaicos, bicicletas estáticas que generan energía mediante los pedaleos, y baldosas de Pavegen que captan los saltos de los espectadores. (Figuras 19 y 20).

Elementos cotidianos

El empleo de la energía cinética que generamos al movernos está mucho más presente en nuestras vidas de lo que creemos, existen elementos que, sin estar destinados a transformar nuestra energía en electricidad ni centrarse en contribuir al planeta de forma limpia y sostenible, utilizan la presión de nuestras pisadas para, por ejemplo, emitir música, como es el caso del piano de la película Big, ubicado en la juguetería FAO Schwarz en Nueva York (Figura 21); de las escaleras musicales de uno de los accesos al metro de Estocolmo, las cuales presentan un cable debajo de las baldosas que se activa mediante la presión de las pisadas enviando señales eléctricas (Figura 22); el videojuego Dance Dance Revolution de los salones recreativos que cuenta con una plataforma sobre la que se sitúan los jugadores en la que han de ir presionando las flechas del suelo según aparezcan en la pantalla (Figura 23); las alfombras de baile con el mismo objetivo que la máquina recreativa, o las alfombras musicales, a modo de piano replicando a menor escala el famoso piano de la juguetería.



Otro ejemplo lo encontramos en el calzado, principalmente destinado a niños, que tiene integrado en su suela luces y un pulsador que se activa con cada pisada, encendiendo dichas luces (Figura 24). O una aplicación mucho más común que podemos encontrar casi en cualquier casa, las básculas de peso, donde al subirnos a ellas comprimimos una serie de sensores que generan electricidad y activan la pantalla, mostrándonos el valor numérico de la fuerza ejercida, en este caso el valor de nuestro peso (Figura 25).

Figura 21. (Izquierda) Fotograma de la película Big.

Figura 22. (Centro) Escaleras piano de la estación de Estocolmo.

Figura 23. (Derecha) Videojuego Dance Dance Revolution.

Este método de activación de funciones a partir del empleo de una fuerza sobre una superficie no sólo se utiliza con los humanos, también lo podemos encontrar en el ámbito del transporte rodado, por ejemplo, en las paradas de autobuses, principalmente las ubicadas en autopistas, que tienen instalada debajo del asfalto una plataforma que apaga la señalización del poste, que indica si se encuentran usuarios en dicha parada, mediante el peso del vehículo; o los cables que se disponen en las carreteras para registrar y cuantificar la cantidad de vehículos que transitan por esa zona en un determinado periodo de tiempo (Figura 26).

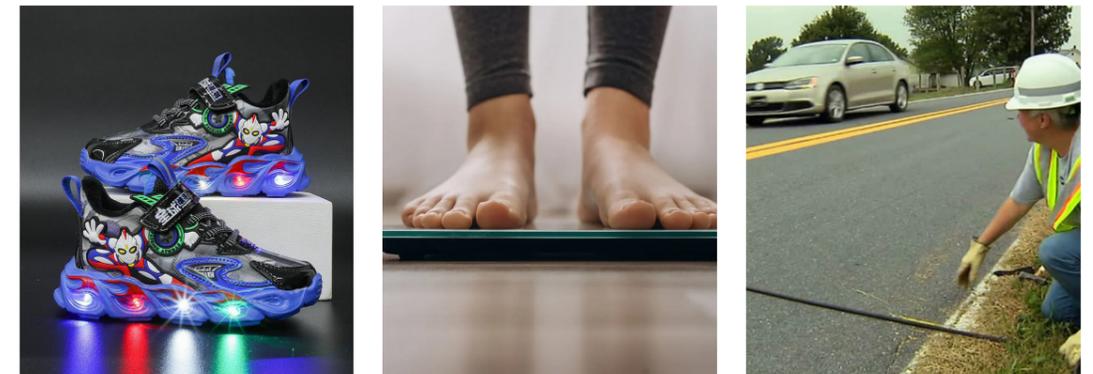


Figura 24. (Izquierda) Zapatillas infantiles con luces LED incorporadas.

Figura 25. (Centro) Báscula de peso.

Figura 26. (Derecha) Operario colocando el cable cuantificador de vehículos en la carretera.

(3). Origen de la palabra piezoelectricidad: «piezoelectricidad» (del griego piezein, «estrujar», y elektron, «corriente eléctrica».

Figura 27. Electrómetro diseñado por los hermanos Curie.

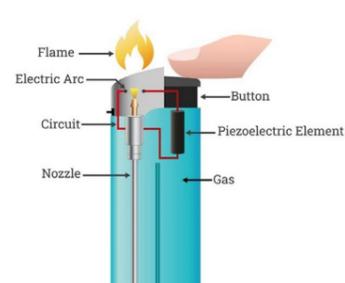


Piezoelectricidad

Existen ciertos cristales que presentan una característica piezoeléctrica⁽³⁾, lo que significa que generan una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie al encontrarse sometidos a tensiones mecánicas, adquiriendo una polarización eléctrica en su masa, es decir, son capaces de generar una pequeña carga eléctrica cuando se aplica una fuerza sobre ellos. Esta condición de los materiales cristalinos fue un importante objeto de estudio durante los siglos XIX y XX por diferentes científicos, entre ellos los hermanos Curie, Paul-Jacques y Pierre Curie. Comenzando por el estudio de la piroelectricidad, proceso analizado por Charles Friedel basado en la electrificación de determinados cristales por calentamiento, e interesados por la cristalografía desde un punto de vista físico más que geológico, desarrollan, en 1880, un nuevo dispositivo con el que poder medir la cantidad de carga eléctrica que presenta un cuerpo, un electrómetro, siendo capaces de medir cargas eléctricas débiles y corrientes de muy baja intensidad (Figura 27).

Este instrumento de medida, además de generalizarse en la Francia del siglo XIX, contribuyó de manera considerable en las investigaciones y aportes científicos sobre la radiactividad desarrollados por Marie Curie. Marie estudiaba minerales radiactivos que emitían rayos invisibles que electrificaban el aire de su alrededor, colocados estos minerales dentro de una cámara de ionización⁽⁴⁾ generaban corriente eléctrica, corriente muy baja que únicamente era posible detectar y medir con el electrómetro de los hermanos Curie. A partir de este proceso, Marie y Pierre Curie comienzan a desarrollar un sistema de medida basado en la generación de un valor conocido de corriente eléctrica, obtenido al deformar mecánicamente el cuarzo piezoeléctrico, siendo capaz de calcularse mediante fórmulas. Colocando los minerales en la cámara de ionización y conociendo previamente su peso y el valor de corriente del cuarzo, podían cuantificar numéricamente la corriente generada por el mineral a partir de la diferencia entre el valor obtenido con el electrómetro y el valor conocido del cuarzo, demostrando así el origen de la radiactividad (Figura 28).

Hoy en día los cristales con característica piezoeléctrica se emplean para elementos cotidianos como los mecheros o los fogones, donde a través de un golpe mecánico el cristal genera una chispa eléctrica, encendiendo el gas (Figura 29). En dispositivos de detección de vibraciones como acelerómetros o micrófonos, generando a partir de la vibración un voltaje, una señal eléctrica; o en dispositivos antivibración, detectando las vibraciones para poder contrarrestarlas. En los relojes de cuarzo para proporcionar una medida precisa, en este caso la hora, ya que al someter el cristal a un voltaje este es capaz de oscilar de manera precisa (Figura 30). En el campo de la medicina se emplea en los ecógrafos por su capacidad de enviar y recibir las ondas ultrasónicas.



(4). Cámara de ionización: aparato diseñado para medir la cantidad de iones de un elemento con el fin de determinar la cantidad y la calidad de radiación que posee el mismo.

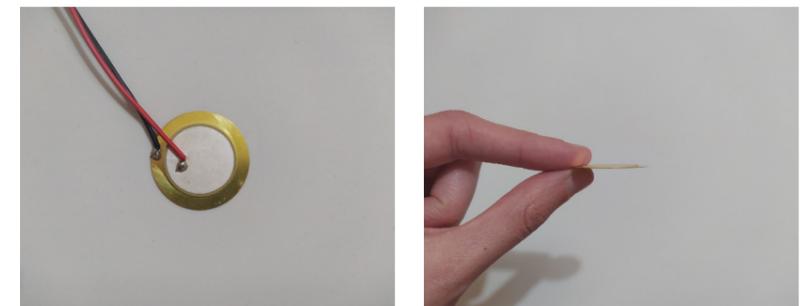
Figura 28. (Izquierda) Cámara de ionización diseñada por Marie Curie en 1897.

Figura 29. (Centro) Dibujo de las partes de un mechero.

Figura 30. (Derecha) Piedra de cuarzo piezoeléctrico utilizado para los relojes.

Sensores piezoeléctricos

El cuarzo piezoeléctrico se utiliza también a modo de sensor, con geometría generalmente redonda, formado por una placa de metal, cables y el cristal piezoeléctrico, dispuesto entre dos placas de latón (Figuras 31 y 32). Presenta diferentes aplicaciones de uso, según la necesidad del usuario, estando mayoritariamente dirigidas a la transformación de la energía generada por la presión ejercida por algún elemento o por la vibración del mismo. Encontramos entonces su utilización en la música como medio para la amplificación de determinados instrumentos de cuerda como las guitarras, transformando la vibración de las cuerdas en impulsos eléctricos. Continuando su uso a partir de las vibraciones, en la reciente exposición en el CentroCentro de Madrid⁽⁵⁾, la *Wet Dream*, se expone el *Prosthetic Sensorium*⁽⁶⁾, una estación transmisora hinchable con sensores piezoeléctricos y micrófonos capaz de percibir los cambios ecosistémicos, concretamente los del ecosistema acuático (Figura 33). Dichos sensores se pueden utilizar para la iluminación de pequeños elementos como diodos LED, o conectarse directamente a microprocesadores como Arduino⁽⁷⁾, para analizar los impulsos eléctricos generados y utilizarlos para obtener datos de las fuerzas ejercidas sobre los sensores.



Figuras 31 y 32. Sensor piezoeléctrico visto en planta y en alzado.

(5). Exposición del 09 de marzo al 25 de agosto de 2024. CentroCentro Madrid es el espacio cultural de carácter expositivo y diáfano, ubicado en el Palacio de Cibeles de Madrid.

(6). Proyecto de Jan Christian Schulz, diseñado en 2022.

Figura 33. Imágen del *Prosthetic Sensorium* en el agua.

(7). Arduino: Hardware libre a modo de placa electrónica utilizándose como microcontrolador.



Se ha estudiado acerca de su incorporación, a modo de baldosas, en el espacio urbano y en los peldaños de las escaleras, ubicandolas concretamente en las inmediaciones de la Universidad Politécnica de Teruel, al igual que el ejemplo comentado anteriormente sobre la comparación de baldosas de la empresa Pavegen y las de Energy Floors para su colocación en las zonas cercanas a la Universidad de Valencia (Ibáñez, 2012). (Figura 34).

Estos pequeños generadores de energía han llegado al mundo del deporte, pudiendo incorporarse en las suelas de las zapatillas, siendo capaces de generar energía durante todo el día mientras caminamos o hacemos deporte, y almacenarla en una batería portátil, de baja potencia y dimensiones reducidas (Aliaga & Vanessa, 2021). (Figura 35).

Actualmente, la empresa Kistler construye sensores piezoeléctricos mucho más sofisticados y potentes que los mencionados y descritos anteriormente, denominados sensores de presión, y funcionando del mismo modo, a partir de las tensiones mecánicas efectuadas por un elemento externo. Orientados a impulsar la innovación tecnológica, construyen productos de medición de aceleración, fuerza, par y presión, fomentando la elaboración de procesos de producción eficientes y sostenibles (Figura 36).

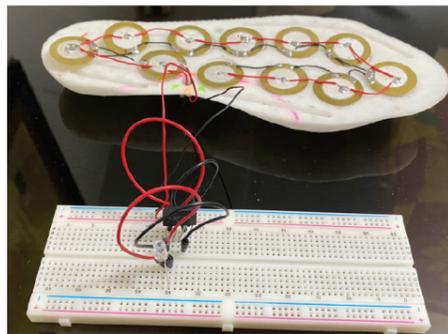


Figura 34. (Izquierda) Prototipo de una baldosa hecha con sensores piezoeléctricos.

Figura 35. (Derecha) Plantilla de zapatilla deportiva con sensores piezoeléctricos.

Figura 36. (Centro inferior) Sensores de fuerza de la marca Kistler.



Aplicación deportiva

Dentro del ámbito deportivo existen una serie de técnicas de análisis cinético a partir de la utilización de plataformas de fuerza y plataformas de presión, con las que se pretende realizar un análisis de los distintos movimientos o acciones deportivas para mejorar el rendimiento deportivo, como es el caso de las plataformas o alfombras chronojump, dmjump o axonjump, que analizan la saltabilidad de los sujetos mediante un software a partir de un salto realizado sobre las mismas (Figuras 37, 38 y 39). Encontramos plataformas de laboratorio, mucho más pesadas y difíciles de trasladar, con el mismo fin que las alfombras de salto, hechas de metal y compuestas por cuatro sensores piezoeléctricos, colocados uno en cada esquina (Figura 40). Incluso, utilizando unas alfombrillas específicas conectadas a un ordenador, podemos analizar la marcha y estudiar la forma de la pisada (Figura 41).

La empresa Pavegen ha intervenido en el mundo del deporte trabajando directamente con ciertas marcas de este sector, Adidas entre ellas, realizando pequeñas intervenciones para fomentar la participación de los usuarios, o incorporando las baldosas triangulares de composite en determinados tramos de carreras, consiguiendo generar energía

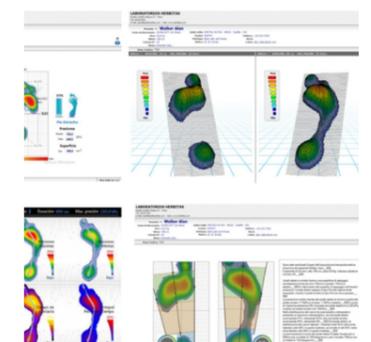
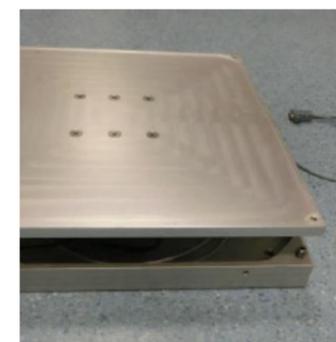
Figura 37. Alfombra de salto Chronojump.

Figura 38. Alfombra de salto dmjump.

Figura 39. Alfombra de salto Axonjump.

Figura 40. Plataforma de laboratorio para análisis de pisadas y saltos.

Figura 41. Alfombra para análisis de las pisadas.



gracias a los corredores (Figuras 42 y 43). En 2012, la empresa construyó una serie de baldosas diferentes a las ya descritas y mencionadas, estas placas cinéticas son rectangulares y presentan un acabado a modo de césped artificial. Ese mismo año se realiza la primera intervención e instalación con este pavimento en una de las zonas de acceso más transitadas al parque olímpico, durante los Juegos Olímpicos de Londres. Posteriormente, en Brasil, concretamente en Morro da Mineira, se colocaron 200 baldosas en un campo de fútbol, constituyendo una de las primeras intervenciones de este tipo orientada a la iluminación de un recinto deportivo, implicando un avance tecnológico en el mundo del deporte, pasando de analizar determinados desplazamientos en laboratorios o lugares habilitados estratégicamente para la realización de las pruebas, a poder utilizar la energía cinética de los jugadores como medio para iluminar las zonas deportivas que tengan integrados pavimentos de este tipo (Figuras 44, 45 y 46).



Figura 42.(Superior)
Colaboración de Pavegen con Adidas.

Figura 43.(Inferior)
Intervención de Pavegen en una carrera.

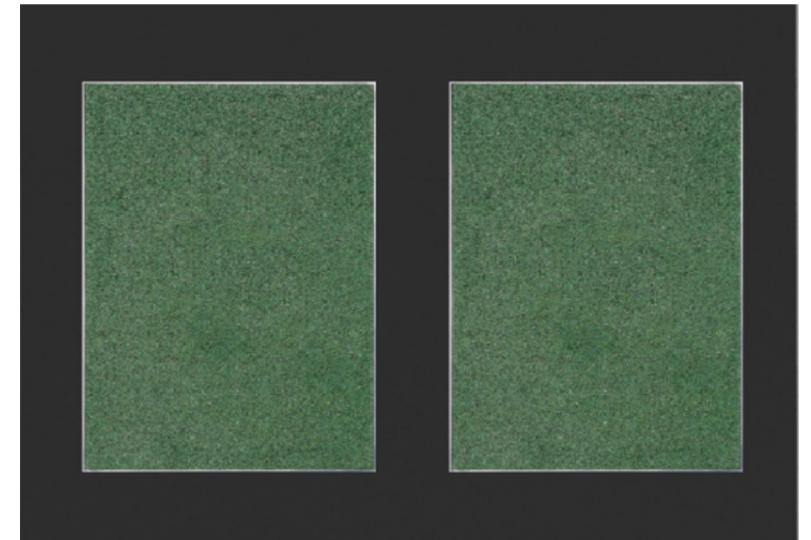


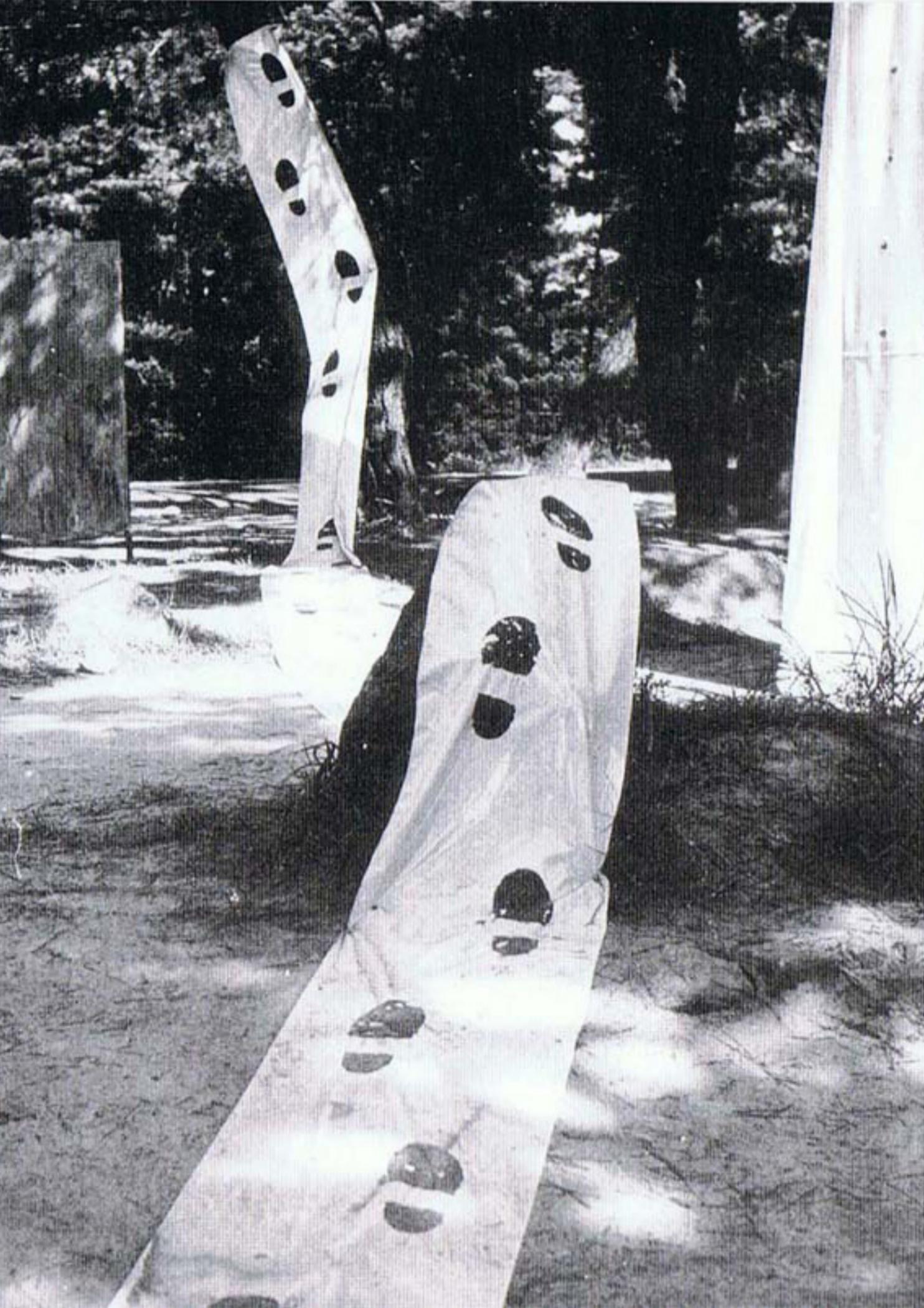
Figura 44. (Superior)
Vista en planta de las baldosas deportivas

Figura 45. (Centro)
Intervención en el acceso al parque olímpico de Londres.

Figura 46. (Inferior)
Campo de fútbol en Morro da Mineira: Primera intervención de la empresa en el ámbito de la iluminación de recintos deportivos

3

PROTOTIPANDO Y CARTOGRAFIANDO PASOS QUE DEJAN HUELLA



Si hablamos de pasos tenemos que hablar del andar y como la representación de esta acción y su significado genera diferentes visiones y entendimientos. Aparentemente, caminar es una acción simple que nos permite desplazarnos, pero tiene un trasfondo y un significado mucho más complejo, ya que nos conecta de manera directa con nuestros antepasados. Andar es un acto primitivo que nos une a ese primer homínido que pasó de la selva a la sabana, del árbol al suelo, modificando su forma de desplazarse. Erguirse y caminar de forma bípeda no sólo nos liberó la cara y las manos, haciendo posible la ejecución de infinidad de movimientos, sino que contribuyó al desarrollo del cerebro y a la capacidad de comprender el mundo y concebir el espacio de forma completamente distinta (Millás & Arsuaga, 2020). El acto de andar ha suscitado mucho interés a lo largo de los años, principalmente en el campo de la arquitectura y el urbanismo, por su vinculación directa con la búsqueda de la generación de emociones y sensaciones en los usuarios, como es el caso del *promenade architecturale* de Le Corbusier, y por su característica tanto estética como melancólica en ciertos casos, estudiada por Francesco Careri en su libro *El andar como práctica estética* (Figura 47). Ambos autores encuentran en el recorrido tanto el sentido y el propósito mismo del objeto arquitectónico y urbanístico como el método primordial con el que comprenderlos, generando un diálogo entre partes, sujeto y construcción, que cobra sentido únicamente mediante la comunicación entre ambos, comunicación que se logra a través de dicho recorrido (Sierra, 2014).



Figura 47.
Imágen de la rampa de la Villa Savoye de Le Corbusier, Francia, 1931.
En referencia al *promenade architecturale* del arquitecto.



Figura 48. (Izquierda)
A Line Made by Walking, Inglaterra, 1967. Richard Long.



Figura 49. (Derecha)
Recorrido a la inversa del Camino de Santiago, 1946. Hamish Fulton.

Decía David Le Breton (2015) en *Elogio del Caminar* que caminar es una apertura al mundo, pero, más allá de su valor estético, sensitivo y sensorial, ¿puede el andar, siendo un acto efímero, intervenir en el mundo?. Fulton se negaba a afirmar que caminar interviene en el lugar, para él el andar era como el movimiento de las nubes, vienen y se van, por tanto no dejan huellas. Es la presencia de la ausencia, como decía Tony Smith, caminar sin dejar rastro nos muestra la ausencia de la acción, la ausencia del cuerpo y del objeto. Por el contrario, Long pensaba que caminar intervenía en el lugar, viéndolo como una acción que se dibuja sobre el terreno y que, por tanto, es posible cartografiar y representar. (Long, 1986). (Figuras 48 y 49).

Los sujetos, en nuestro casos jugadores de voleibol, forman parte de la arquitectura y se relacionan con ella a través de estos recorridos o desplazamientos que realizan mientras juegan. Estos cuerpos intervienen de manera directa en el lugar, es por ello que buscaremos espacializar dicha presencia. Pretendemos, no sólo representar sus movimientos, sino poder captar la fuerza de sus pasos y contactos directos con el suelo,- caídas, saltos o botes de balón-, a través de un pavimento que los transforme en energía eléctrica, para, posteriormente, ser utilizada para iluminar el recinto de juego. De esta forma el acto de caminar o desplazarse, dentro del ámbito arquitectónico, ya no tiene una característica únicamente sensitiva y estética, sino que trasciende y evoluciona llegando a ser capaz, no sólo de generar sensaciones y emociones en

los usuarios, sino haciéndolos partícipes directos en la propia arquitectura convirtiéndolos en generadores de energía, a partir de la retroalimentación entre sujeto y construcción materializada en un pavimento con sensores piezoeléctricos. (Allen, 1996).

Captador de energía

Entendiendo que caminar interviene en el lugar, se procede al desarrollo de un captador de energía, un pavimento, como ya se ha explicado, que transforme los pasos en energía eléctrica. Para ello, primero será necesario conocer las dimensiones y características del espacio de instalación y estudio, en nuestro caso un pabellón en el que la zona destinada a la actividad deportiva, zona de principal interés para esta investigación, presenta unas dimensiones de 46 metros de largo por 28 metros de ancho, en la que se pueden utilizar de manera simultánea 4 pistas de voleibol para entrenamientos o partidos de cantera, y una pista central para entrenamientos y partidos profesionales. Tanto para competiciones regulares como para competiciones profesionales estas canchas han de medir, de manera obligatoria, 9 metros de ancho por 18 metros de largo, los cuales se dividen por una red en dos zonas de juego, una para cada equipo, de 9x9 metros cada una (Figuras 50, 51 y 52).

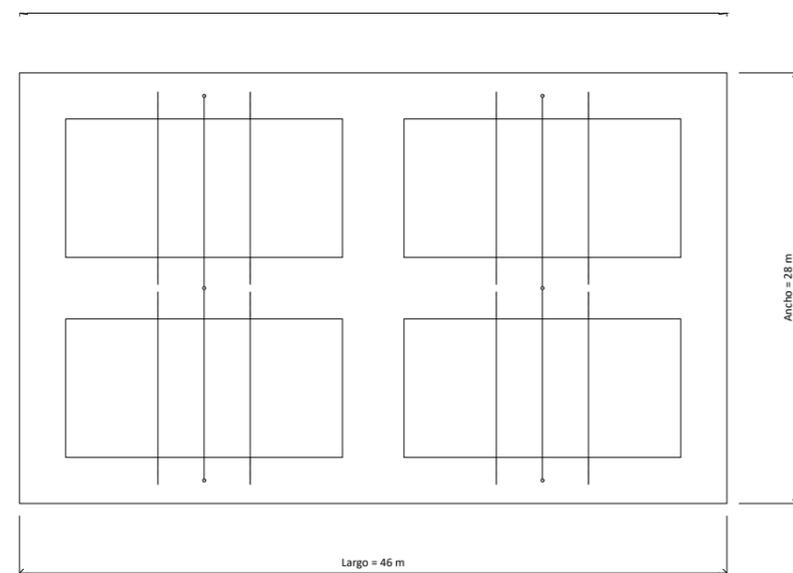


Figura 50.
Vista en planta de la zona de juego general: representación de las cuatro canchas destinadas a la cantera.

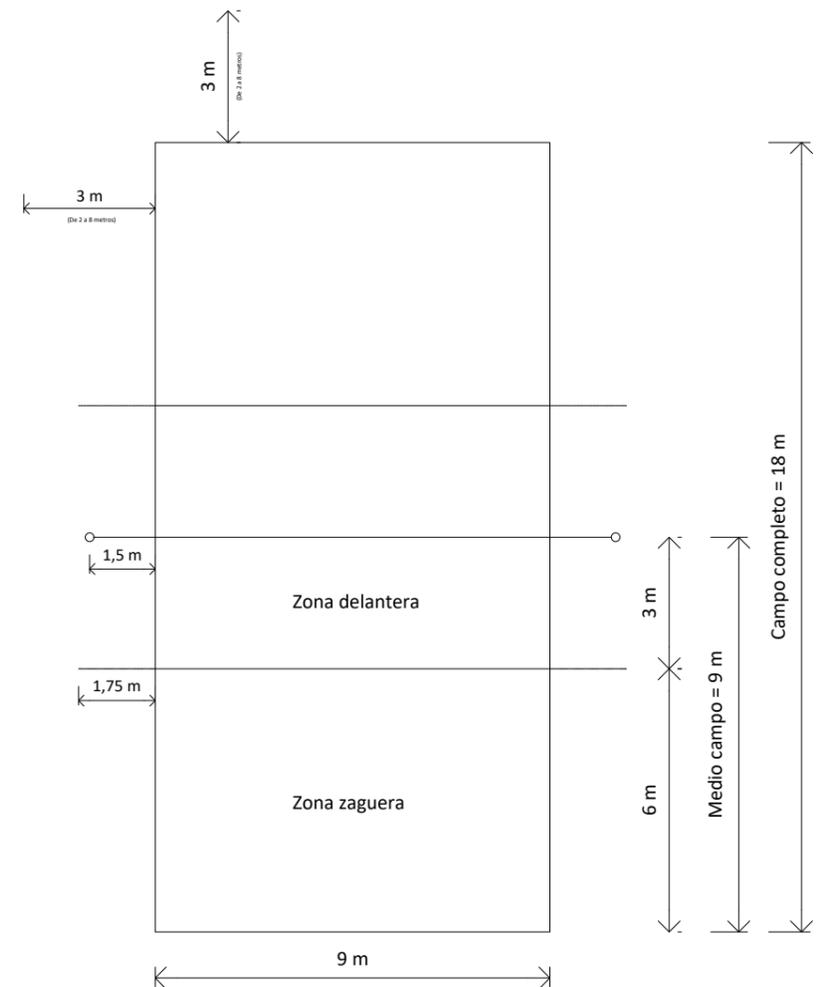
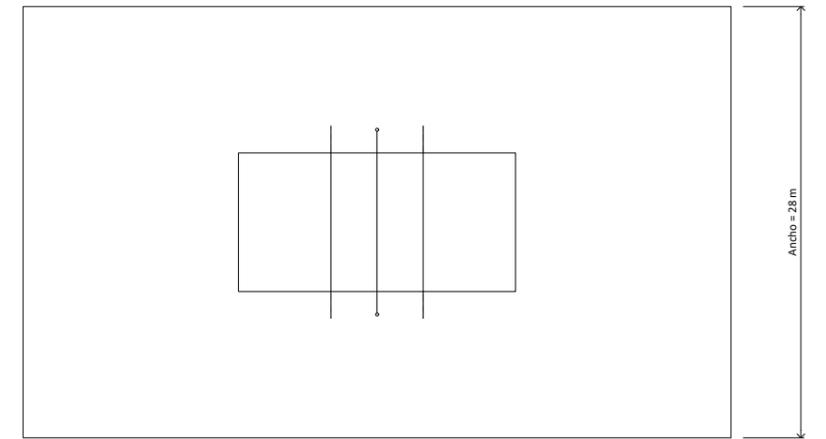


Figura 51. (Superior)
Vista en planta de la zona de juego general: representación de la cancha central destinada a la categoría de superliga.

Figura 52. (Inferior)
Vista en planta de la cancha de juego: medidas y división de las zonas dentro del medio campo.

Conociendo las medidas del recinto y las medidas obligatorias para la cancha de juego, se establece que la manera más cómoda de incorporar un pavimento de este tipo es a base de baldosas, concretamente las nuestras tendrán unas dimensiones de 1x2 metros y serán capaces de maclarse unas a otras para evitar el desplazamiento de las mismas y garantizar su sujeción, a su vez, en caso de reparación será posible retirar las baldosas necesarias, de esta forma evitamos levantar todo el suelo, pudiendo continuar con la utilización del resto del pavimento para no detener la actividad del recinto. En caso de no necesitar generar energía en un periodo de tiempo determinado, la característica modular y fácilmente transportable del mismo permitiría su retirada y almacenamiento hasta su próximo uso; otra solución para este caso sería apagar el sistema pero no se considera conveniente ya que aunque no se esté generando energía, con el desarrollo de la actividad deportiva sobre el pavimento, los sensores continuarán desgastandose, lo que implicaría un menor tiempo de vida y de efectividad de los mismos. Por ende, se considera que la mejor solución es establecer módulos fáciles de instalar y desinstalar.

Independientemente de la solución final del pavimento a base de módulos desmontables y maclables y de las dimensiones de los mismos, para el desarrollo de la investigación nos concierne en mayor medida los materiales que compondrán el sistema de pavimento, teniendo en cuenta que han de ser resistentes a saltos, caídas, golpes y demás acciones deportivas; la relación entre dichos materiales, evitando las interferencias entre los distintos elementos que perjudiquen la efectividad y la eficiencia de la instalación; y el espesor final del suelo, ya que se pretende incorporar no sólo en obra nueva sino en recintos deportivos ya existentes, por lo que no debe impedir la apertura de puertas, la entrada a recintos de baja altura como almacenes o cuartos de instalaciones, ni reducir de manera considerable la altura mínima necesaria para el adecuado desarrollo de la actividad deportiva, en el caso del voleibol de 12'5 metros.

Además, deberá garantizar rigidez minimizando el movimiento vertical con el que se comprime el suelo según se ejecuta cada paso ya que, sobre todo para deportes de impacto y de mucho salto, se pueden producir lesiones por este desplazamiento del pavimento. A pesar de ello,

la composición del sistema y los materiales escogidos para el mismo deben garantizar el correcto uso y la eficiencia de los sensores permitiendo que, al ser comprimidos, flecten y produzcan electricidad (Figura 53).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el sistema de pavimento captador y transformador de energía contará con sensores piezoeléctricos, siendo los elementos principales del mismo, además de las personas; placas de madera que actúen como rigidizadores para el sistema; una capa de material antideslizante con la que evitar deslizamiento; un material con característica elástica que permita la flexión de los sensores; cables para la conducción de la energía; y la solución de acabado interior para recintos polideportivos escogida, pudiendo ser un pavimento punto-elástico como los suelos sintéticos (vinilo, Taraflex⁽⁸⁾...), un pavimento área-elástico, constituidos por suelos de madera, o un pavimento elástico combinado, siendo una combinación de ambos tipos (Figuras 54, 55 y 56).

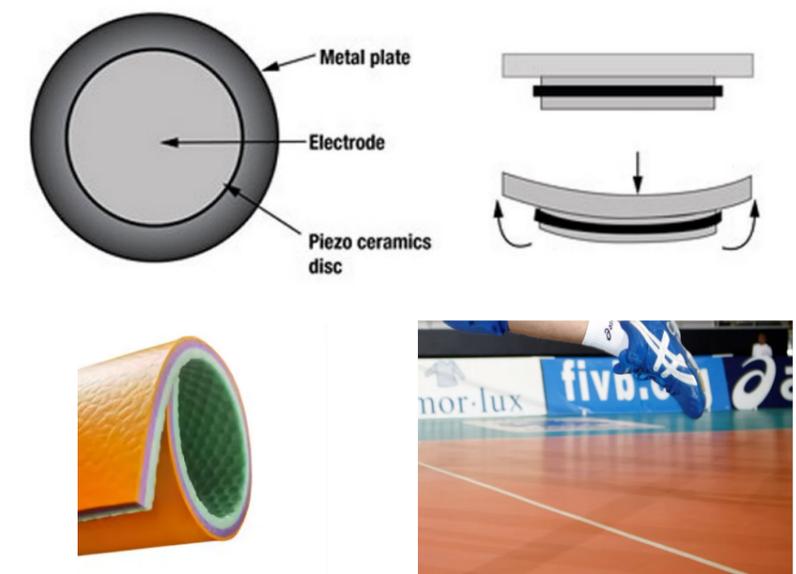


Figura 53. (Superior) Esquema de las partes del sensor piezoeléctrico y esquema de la flexión que sufre cuando se aplica una fuerza sobre él.

(8). Taraflex: suelo protector deportivo formado por una capa gruesa de vinilo.

Figura 54. (Centro izquierda) Zoom de la solución de pavimento Taraflex.

Figura 55. (Centro derecha) Solución de pavimento Taraflex instalada en cancha.

Figura 56. (Inferior) Tipos de soluciones de pavimentos para recintos deportivos de interior.



Construcción del prototipo

Para el desarrollo de esta investigación se ha considerado necesaria la construcción de un prototipo tanto para comprender el funcionamiento completo del sistema en la realidad, los materiales que lo compondrían y la interacción entre ellos, como para su utilización como método de obtención de datos con los que poder realizar cálculos con el fin de determinar de manera aproximada la viabilidad de esta solución antes de su instalación.

Las dimensiones de nuestro prototipo serán las necesarias para poder ser pisado, por tanto su tamaño será de 30x20 cm. Cuenta con una placa de metacrilato situada en la base sobre la que se ha colocado una capa de gomaeva con el fin de disponer encima el sistema de sensores y permitir su flexión. Se han utilizado 30 sensores piezoeléctricos de 2'7 cm de diámetro colocados en 6 filas de 5 sensores cada una. La conexión de los mismos se ha realizado en serie, permitiendo así la generación de mayor intensidad, amperaje, y tensión constante, voltaje, de esta forma se irán acumulando y sumando los amperios mientras que, para el mismo periodo de tiempo, el valor de los voltios se mantendrá constante. En las filas, cada sensor se encuentra conectado al siguiente por un cable recubierto soldado a la zona exterior, constituyendo la parte negativa, a su vez, la parte central, la zona positiva donde se encuentra el cristal piezoeléctrico, está conectada con un cable recubierto que se une a un cable de cobre pelado, obteniendo por cada fila un cable positivo y otro negativo que se unirían para sacar del prototipo un cable general para cada polaridad. Cada sensor cuenta, en su parte central, con un taco redondo de goma, además del cable positivo soldado, para garantizar que la fuerza que ejerzamos al pisar se dirija directamente a la parte receptora y generadora del sensor. Sobre los sensores y los tacos se coloca otra placa de metacrilato sobre la que se dispone la solución de acabado de pavimento, en este caso madera laminada, simulando las tarimas de madera de los pabellones reales. Con todos estos elementos, obtenemos un espesor total para el prototipo de 2'4 centímetros (Figura 57).

8. Acabado de suelo laminado, espesor = 0'5 cm
7. Capa de goma eva, espesor = 0'2 cm
6. Placa de metacrilato, espesor = 0'5 cm
5. Tacos de goma, cantidad = 30 unidades
4. Sensores piezoeléctricos, cantidad = 30 unidades
3. Capa de goma eva, espesor = 0'2 cm
2. Placa de metacrilato, espesor = 0'5 cm
1. Capa de fieltro

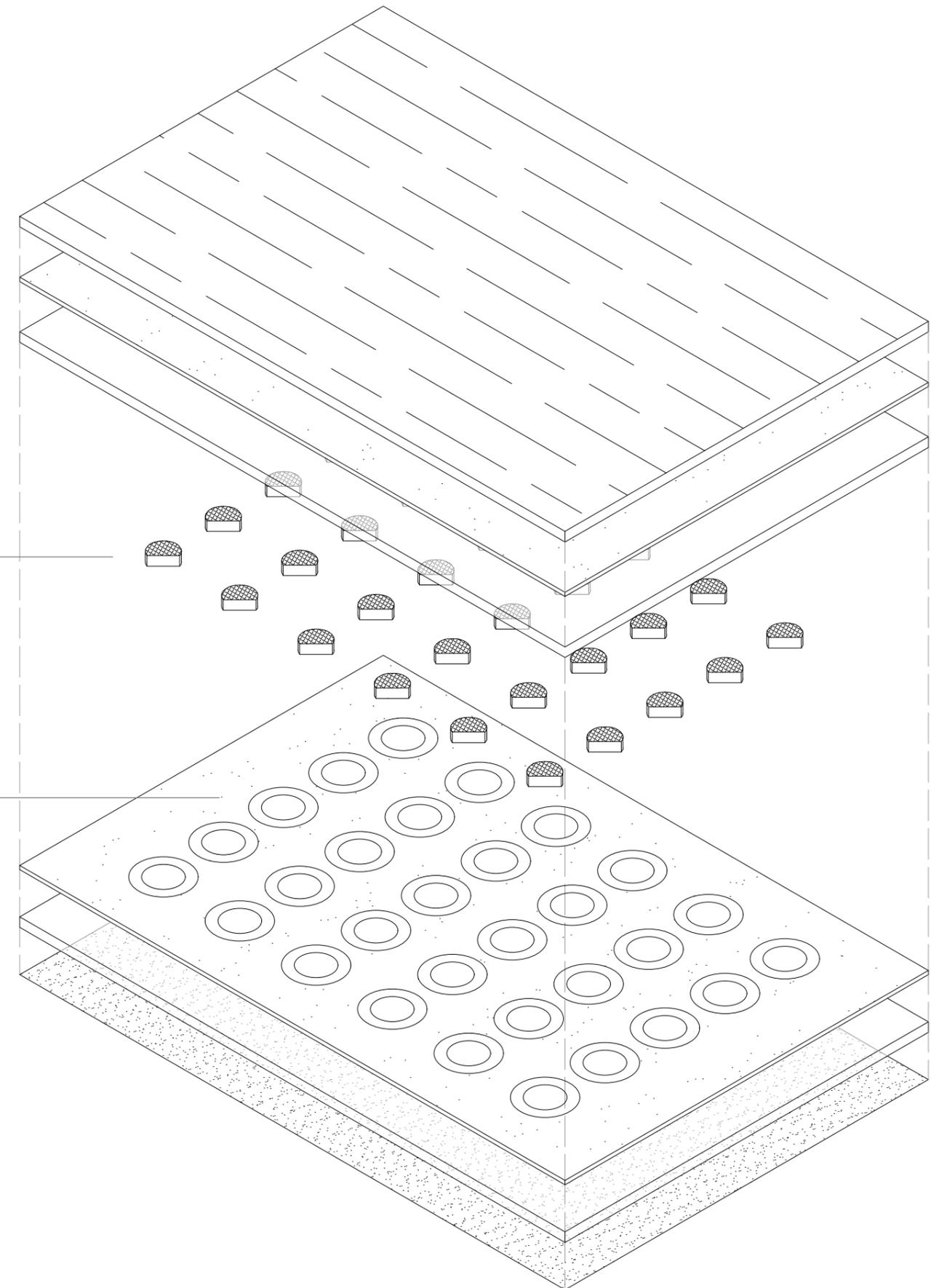
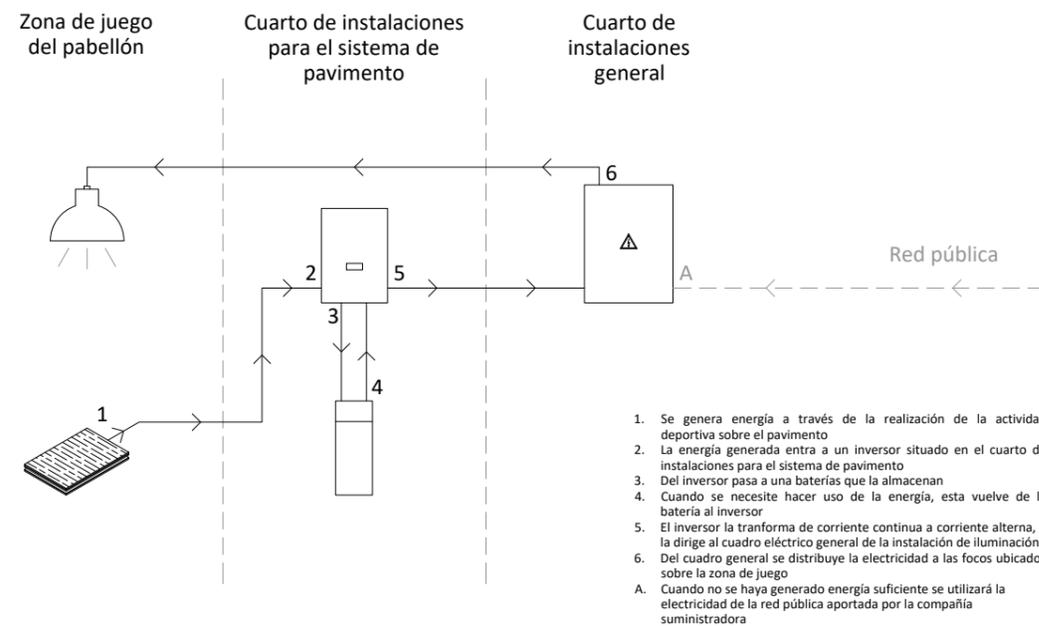


Figura 57. Axonométrica explotada de los distintos materiales que conforman el prototipo, y sus espesores.

Toda la energía generada, tanto en el caso del prototipo como en el de la instalación completa, ha de almacenarse en baterías para poder ser utilizada y aprovechada, ya que debido a la característica pulsante y cambiante del sistema de generación -pasos de los jugadores-, y de captación y transformación -pavimento con sensores-, se precisan dispositivos capaces de acumular dicha energía, de otra manera sería inviable la utilización de este sistema si se quieren mantener encendidos los focos del pabellón, ya que la intensidad y el tiempo de la iluminación dependería estrictamente de cada pisada que se realice.

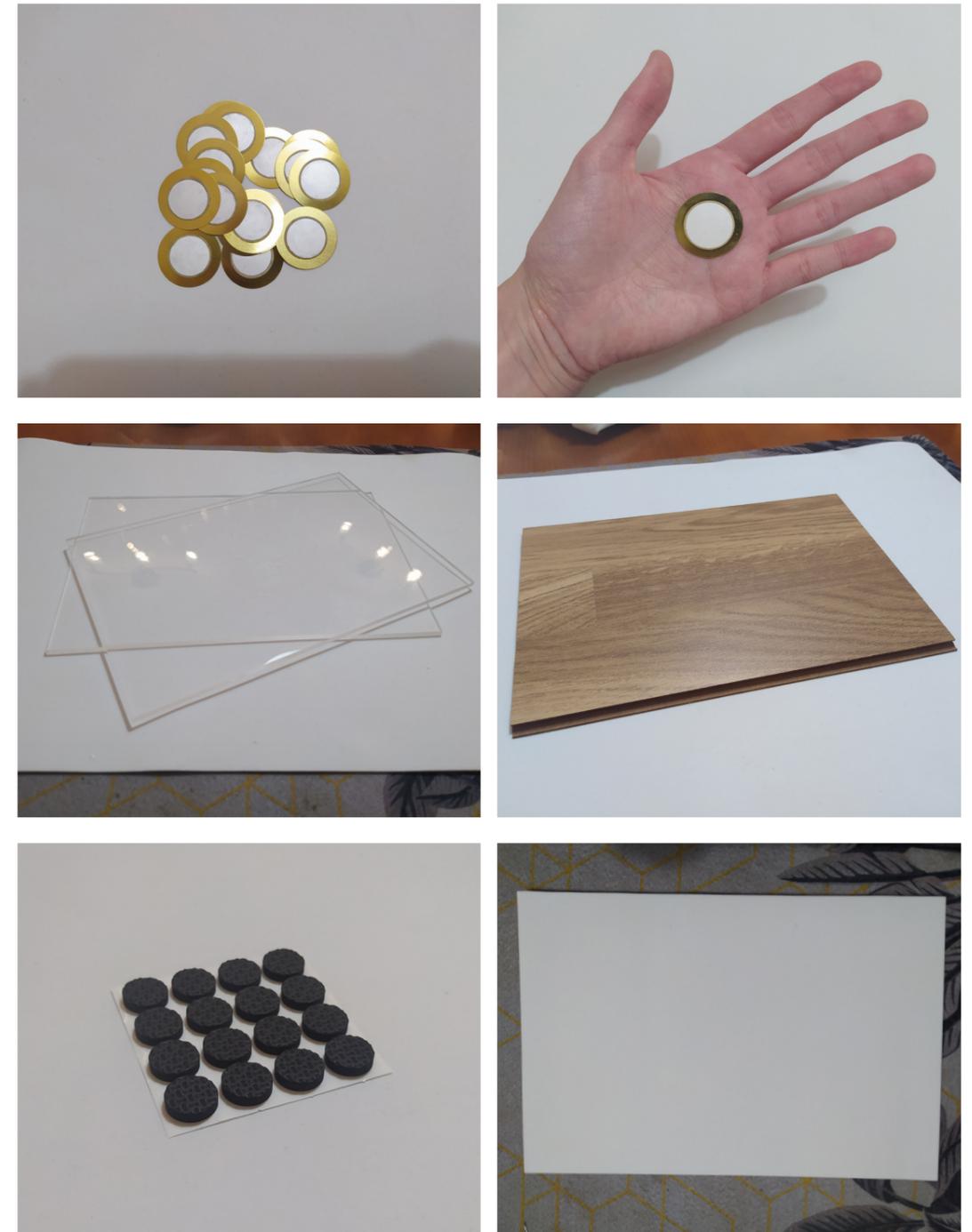
Por tanto, una vez agrupada y canalizada toda la energía en dos cables generales, positivo y negativo, se conducen hacia el cuarto o almacén que cada recinto deportivo halla habilitado para reunir las instalaciones necesarias para el funcionamiento del pavimento. Con el sistema de sensores piezoeléctricos generamos corriente continua, por tanto dentro del cuarto de instalaciones se conectarán los cables generales a un inversor, que a su vez estará conectado a las baterías, las cuales estarán unidas en serie, al igual que el sistema de sensores. Cuando se requiera la utilización de la energía almacenada, esta se dirigirá de las baterías de nuevo al inversor, el cual la transformará en corriente alterna y saldrá del mismo a través de un cable de fase y otro neutro para distribuir la electricidad a la instalación de iluminación del pabellón, iluminando todos los focos del recinto (Figura 58).

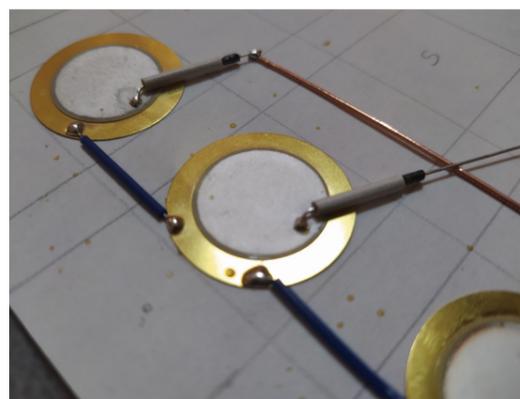
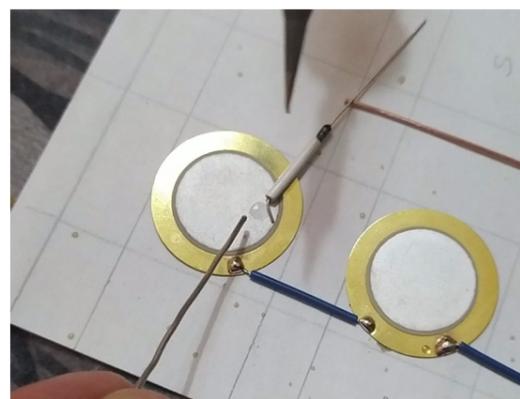
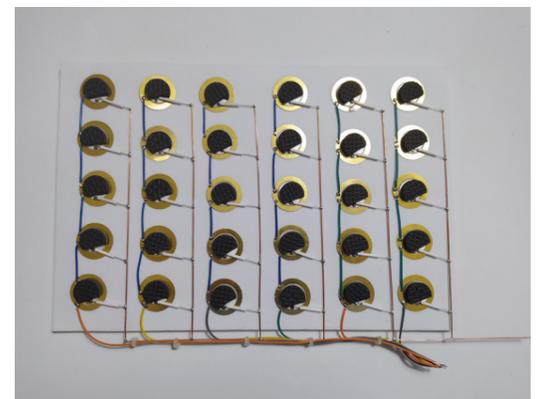
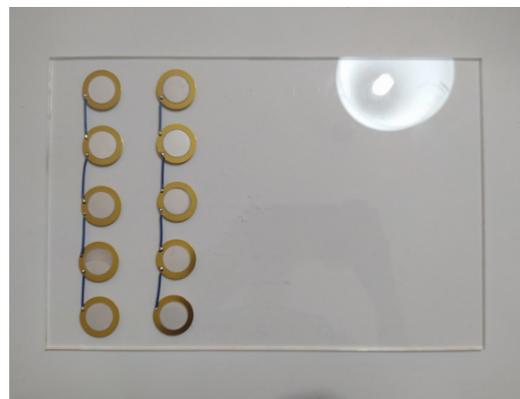
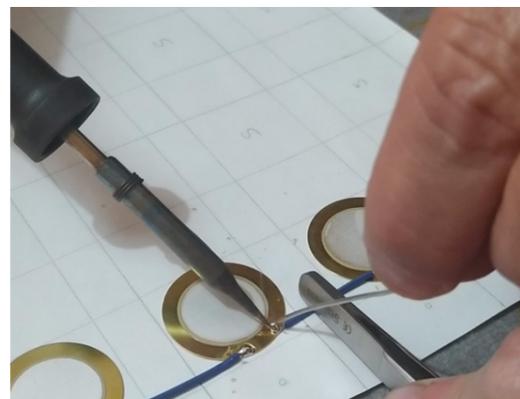
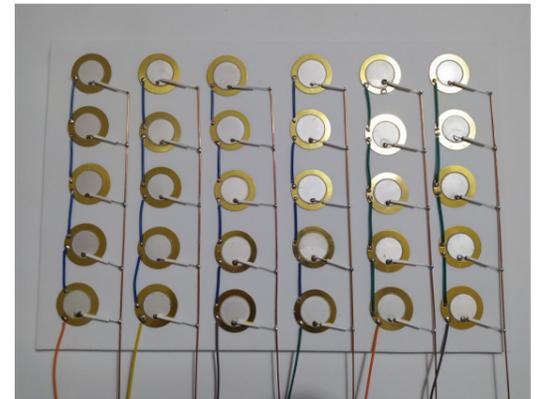
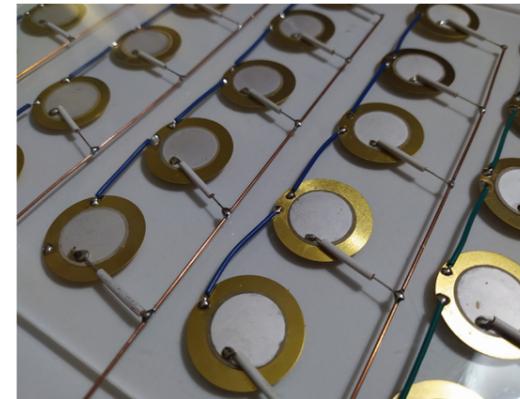
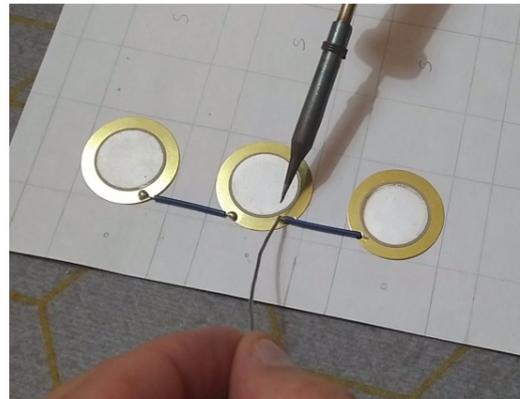
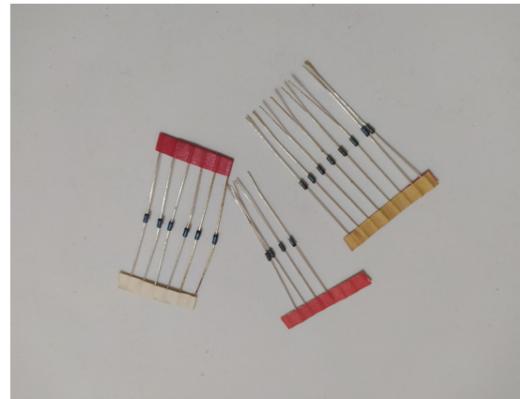
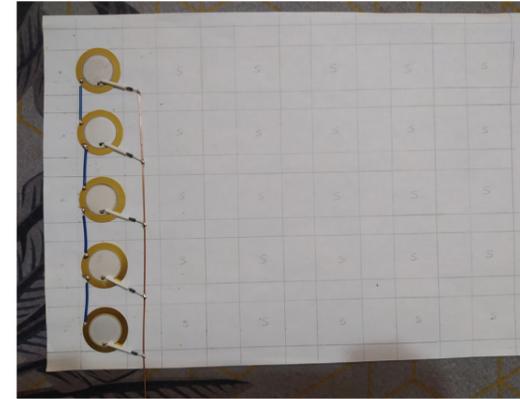
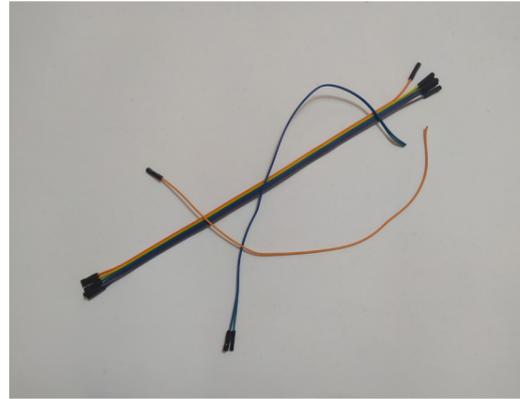
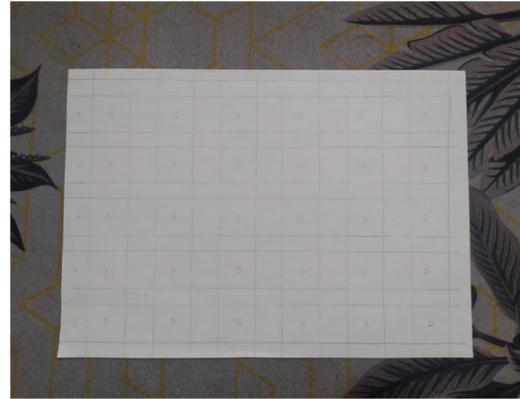
Figura 58. Esquema de la instalación: conexión del prototipo al cuarto de instalaciones destinado al pavimento, conectado a su vez al cuadro eléctrico general del circuito de iluminación de la zona de juego.



A continuación se muestra un atlas del proceso de desarrollo y construcción del prototipo. En primer lugar se mostrarán todos los elementos y materiales utilizados, además de una plantilla para colocar de manera correcta los sensores sobre la superficie del metacrilato; y por último el desarrollo del mismo, además de la primera prueba realizada con el prototipo una vez finalizada su construcción.

Atlas 1





La representación de lo efímero

El-simple- acto de andar no es el único arte efímero que ha suscitado interés, en lo que a su representación se refiere, la danza ha sido otro campo altamente atrayente. Desde la época de los egipcios pasando por la corte de Luis XIV hasta la actualidad, se ha mostrado interés por la plasmación y representación permanente en el espacio bidimensional de los movimientos realizados por los humanos, mostrando cómo estos intervienen en el lugar a través de líneas y formas dibujadas de manera invisible en el espacio tridimensional. Es una forma particular y única de habitar el espacio que trae consigo dificultad en su representación, y muchas veces en su entendimiento por su extrema abstracción, como es el caso del método Laban, sistema creado por Rudolf Laban en el que registra y reconstruye a partir de símbolos geométricos los movimientos realizados por los bailarines, donde la sencillez de sus símbolos crea partituras que recogen dichos movimientos y coreografías pero que resultan complejas de comprender a primera vista (Figura 59). La estereometría del espacio, desarrollada por Oskar Schlemmer, establece una relación entre opuestos donde el espacio, entendido como un elemento lleno y flexible, se ve afectado por la figura del bailarín, figura que actúa como elemento rígido que altera el espacio tridimensional, dicha alteración es capaz de representarse de forma sencilla, a través del trazado de elementos básicos como líneas o círculos (Figuras 60 y 61). Joan y Rudolf Benesh desarrollaron la Notación del Movimiento de Benesh, la Coreología, donde documentan el ballet de forma muy similar a las partituras de música clásica con las que estamos familiarizados, constituyendo un método de representación del movimiento en las tres dimensiones mucho más sencillo de comprender (Figura 62).

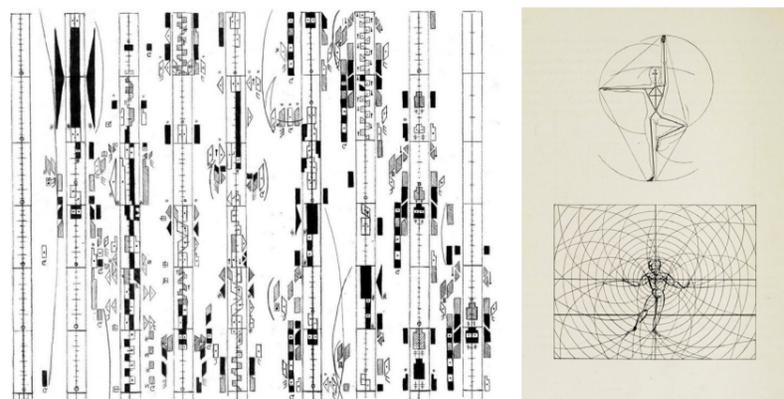
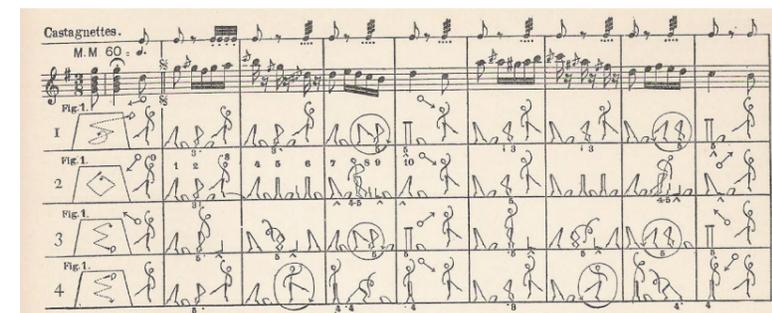


Figura 59. (Izquierda) Notación del lenguaje Laban. Rudolf Laban. 1920.

Figuras 60 (Derecha) y 61 (Izquierda página contigua) La estereometría del espacio. Oskar Schlemmer. 1902.



Andy Warhol también indagó en el mundo de la representación de lo efímero, centrándose únicamente en los desplazamientos de los pies, es decir, en los desplazamientos realizados en los ejes x e y, dejando de lado el resto de movimientos, los del eje z. De este modo desarrolla una serie de diagramas de bailes típicos norteamericanos mediante la plasmación en el plano bidimensional de las huellas de los zapatos y los respectivos pasos que comprenden cada uno de los bailes, a través de una sucesión de huellas con cambios de ubicación y giros, además de flechas a modo de líneas directoras del movimiento (Figuras 63 y 64). Dentro del mundo del deporte encontramos representaciones de desplazamientos, concretamente en el fútbol, se dibujan las jugadas a partir de círculos o triángulos, que simbolizan la posición final de los jugadores; cruces para su ubicación inicial; y líneas que nos muestran la dirección del desplazamiento.

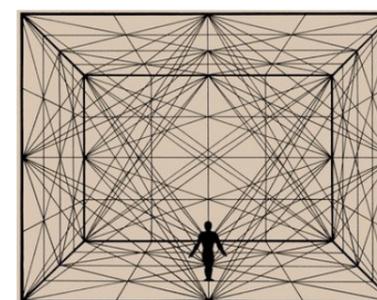
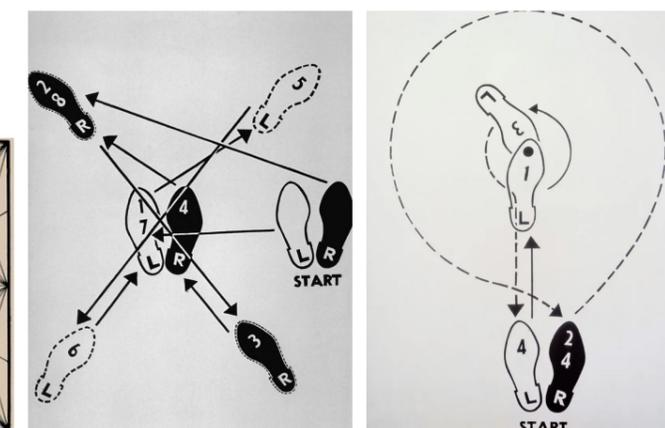


Figura 62. (Superior) Coreología. Notación del movimiento de Benesh. Joan y Rudolf Benesh. 1940.

Figura 63. (Centro) Dance Diagram "The Charleston". Andy Warhol. 1962.

Figura 64. (Derecha) Dance Diagram "The Lindy Turn in-Turn Man". Andy Warhol. 1962.



Todas estas investigaciones y métodos, independientemente de la forma de representación y el fin de cada una, tienen en común el análisis y el estudio de los movimientos, porque para poder representar lo efímero es necesario analizar y comprender cómo el objeto de estudio, en nuestro caso el voleibol, habita y utiliza el espacio.

El voleibol es un deporte que se caracteriza por sus numerosos desplazamientos, saltos y caídas, y al igual que el resto de deportes, tiene una forma particular de habitar el espacio. Esta forma de utilización del lugar se puede dividir en cuatro acciones principales: saque, recepción, ataque y defensa (Figuras 625, 66, 67 y 68). Cada acción tiene una manera concreta de utilizar y entender el espacio, y en ocasiones sus desplazamientos coinciden entre ellos o se repiten de manera reiterada en el tiempo, generando así zonas del campo de juego mucho más transitadas que otras.



La cancha, como se mencionó anteriormente, ha de constituir un rectángulo de 18x9 metros, el cual se divide en dos sub-rectángulos de 9x9 metros separados por una red. Cada sub-rectángulo delimita el espacio que ha de habitar cada equipo, en el que deben de haber siempre seis jugadores, doce sumando ambos lados. El área de juego de cada contrincante presenta dos zonas divididas de forma no simétrica: una zona delantera, la más cercana a la red y la de menor dimensión, en la que se ubican tres jugadores; y una zona zaguera, la de mayor dimensión y situada más lejos de la red, en la que se ubican los tres restantes. Independientemente de estas zonas, cada jugador tendrá un rol determinado a la hora del desarrollo del juego, lo que implica que cada uno va a habitar el espacio de manera distinta, realizando desplazamientos y movimientos por diferentes partes de la cancha. A partir de la posición

Figura 65. (Izquierda superior) Acción de saque.

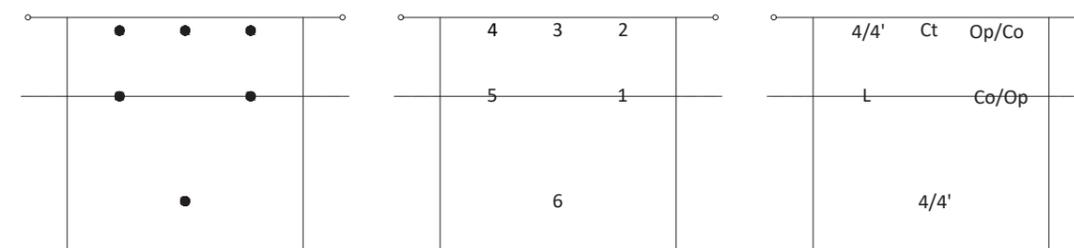
Figura 66. (Derecha superior) Acción de recepción.

Figura 67. (Izquierda inferior) Acción de ataque.

Figura 68. (Derecha inferior) Acción de defensa.

inicial en la que ha de colocarse cada jugador, en base a su función, y la acción que se vaya a desarrollar en el momento, se realizan una serie de recorridos que van conectando las posiciones iniciales particulares de cada jugador mientras, al mismo tiempo, se mezclan con las del resto de jugadores pertenecientes al mismo equipo (Figuras 69, 70 y 71).

La finalidad principal de este deporte consiste en no dejar caer el balón al suelo, a través de estos desplazamientos y la interacción y la mezcla de todos ellos se consigue el objetivo del juego, por tanto, podríamos decir que la esencia del voleibol recae, no tanto en mantener el balón en el aire, sino directamente en la relación y el diálogo que crean los recorridos y desplazamientos que realizan los jugadores.



A continuación, se muestran los desplazamientos realizados por cada jugador en las distintas acciones generales de juego. Dentro del medio campo, el sub-rectángulo, se han representado los seis sujetos mediante un círculo correspondiente al ancho de hombros medio de las mujeres, 35 centímetros; a través de líneas discontinuas se evidencia la dirección del desplazamiento realizado por el jugador; y mediante una cruz se plasma la posición en la que se encontraba el sujeto antes de moverse (Atlas 2).

Cabe destacar que los desplazamientos representados corresponden a los realizados en el momento de juego, tanto en partidos como en entrenamientos, por lo que, debido a su extensa cantidad, no se han contemplado los desplazamientos específicos de los numerosos ejercicios de entrenamiento que existen. Además, se ha escogido el sistema de rotación más común y más utilizado, el cual consiste en la presencia en cancha de un único colocador, por el cual, según su posición en el campo, se determinan el resto de posiciones de los cinco jugadores restantes para cada rotación. Encontramos, entonces, los siguientes juga-

Figura 69. Representación en medio campo de las posiciones iniciales de los seis jugadores del mismo equipo a partir de círculos correspondientes al ancho de los hombros.

Figura 70. Representación en medio campo de las diferentes zonas que encontramos en la cancha, correspondiendo además a las posiciones iniciales de los jugadores.

Figura 71. Representación en medio campo de la posición inicial de cada jugador según su rol en desarrollo del juego. Co, colocador; Op, opuesto; Ct, central; L, libero; 4, atacante de 4 principal; 4', atacante de 4 secundario.

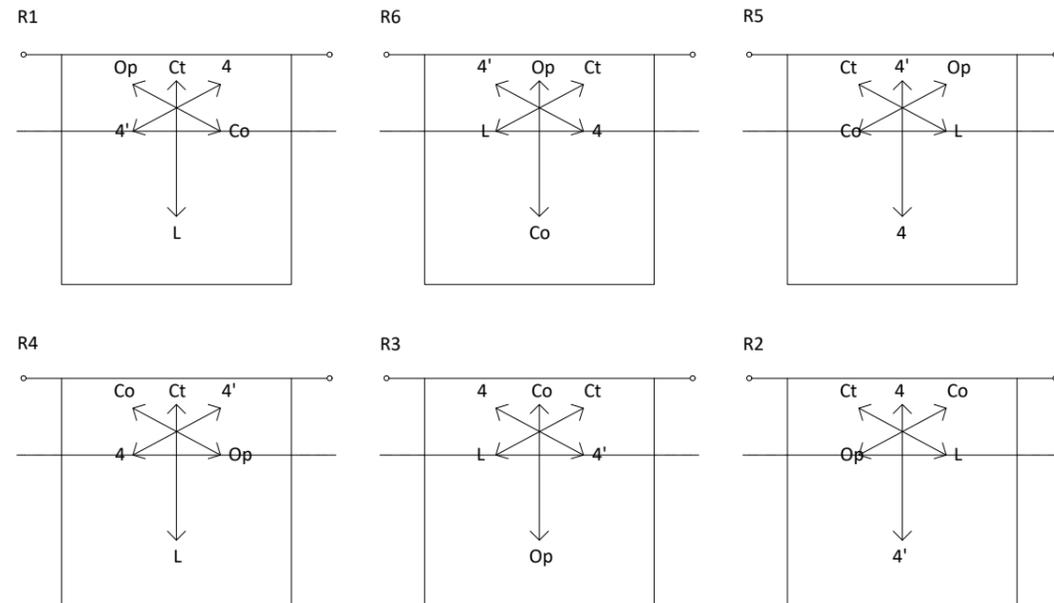
dores: un colocador, encargado de distribuir el juego y ubicado tanto en la zona 1 como en la 2 dependiendo de si se encuentra delantero o zaguero; un líbero, ubicado en la zona denominada 5, es el especialista en defensa y recepción, no pudiendo ejercer las acciones de ataque y saque; por último los atacantes, los cuales se dividen en alas y centrales: los centrales se colocan en la zona 3 del campo y su objetivo principal es tanto el ataque como el bloqueo; dentro de las alas encontramos los atacantes de 4, divididos en atacantes de 4 principales y atacantes de 4 secundarios según su cercanía al colocador en las rotaciones, jugando tanto en zona 4, los delanteros, como en zona 6, los zagueros, constituyendo las acciones principales de ambos la recepción y el ataque; por último, el opuesto, siendo otro atacante de ala, ubicado concretamente en la zona 2 cuando se encuentra delantero, y en zona 1 cuando está zaguero, su acción principal es el ataque.

Por lo general no se realizan ataques por la zona 5 del campo, correspondiendo a la zona destinada al líbero, ya que estos no pueden atacar dentro del espacio delantero de la cancha, de igual forma se ha representado dicha acción de ataque ya que existen ligas como la de aficionados que si la pueden utilizar en su juego.

Partiendo de la posición inicial los jugadores rotan en el sentido de las agujas del reloj, correspondiendo cada nueva rotación efectuada al inicio de la siguiente jugada a través de la acción de saque, a la que le sigue la recepción, el ataque y la defensa, repitiéndose esta dos últimas hasta la finalización del punto una vez el balón haya entrado en contacto con el suelo (Figura 72).

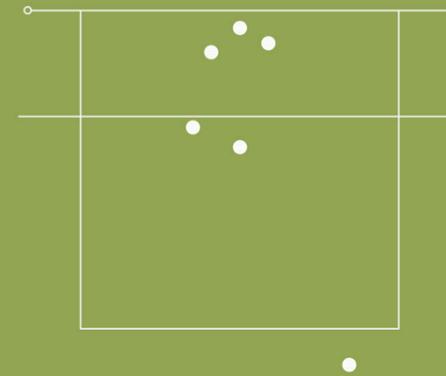
Figura 72. Representación en medio campo de la ubicación y la posición inicial de cada jugador en base a la rotación en la que se encuentren, dependiendo de la colocación del colocador en la cancha. R1, rotación con el colocador en zona 1, y así con cada rotación.

Atlas 2. El atlas 2 constituye los desplazamientos realizados por los jugadores del mismo equipo en medio campo para las cuatro acciones generales estipuladas anteriormente. Láminas verdes, acción de saque; láminas azules, acción de recepción; láminas naranjas, acción de ataque; láminas violetas, acción de defensa. Finalizadas las láminas de las acciones se muestra tanto la superposición de todos los desplazamientos realizados y dibujados, como la delimitación de zonas en base al grado de actividad de cada una debido a estos movimientos.

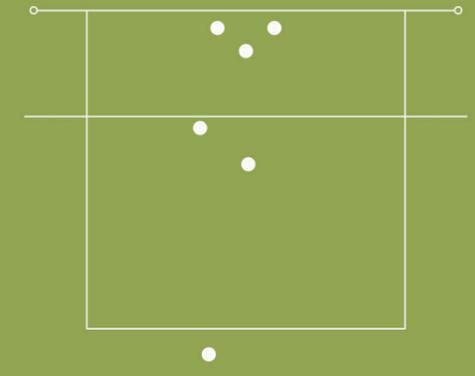


SAQUE. Rotación inicial en base a la ubicación del colocador

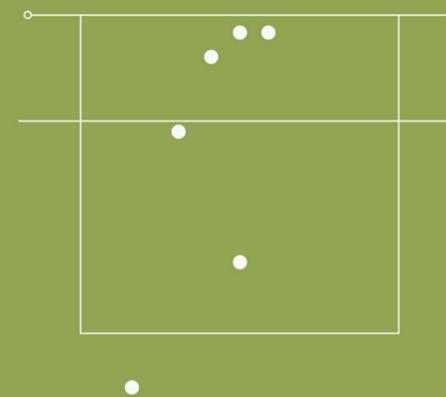
R1. Saque del colocador



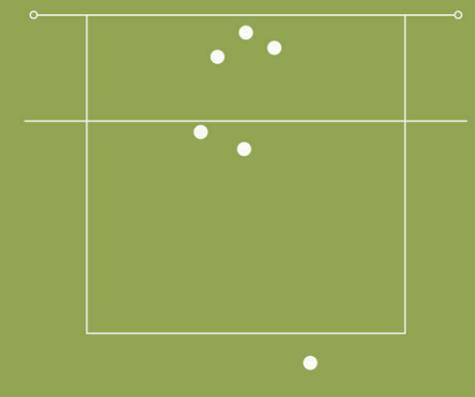
R6. Saque del 4 principal



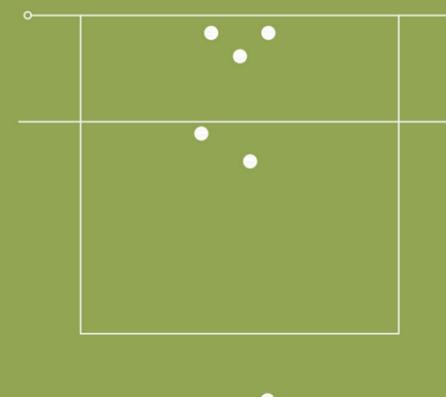
R5. Saque del central



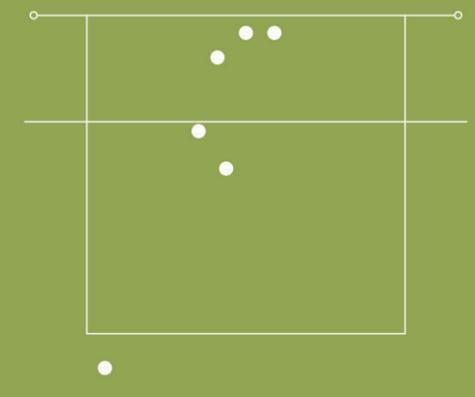
R4. Saque del opuesto



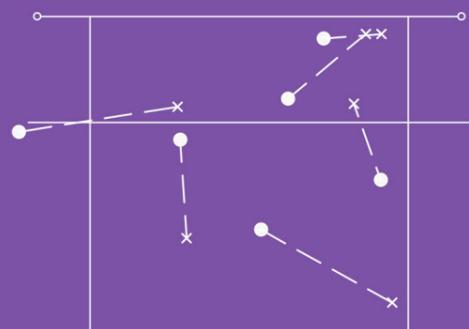
R3. Saque del 4 secundario



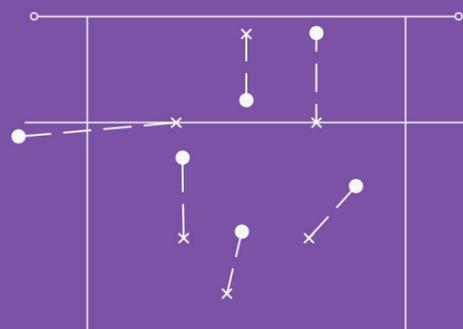
R2. Saque del central



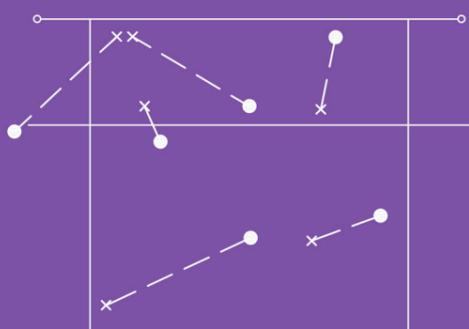
Defensa del ataque por zona 4



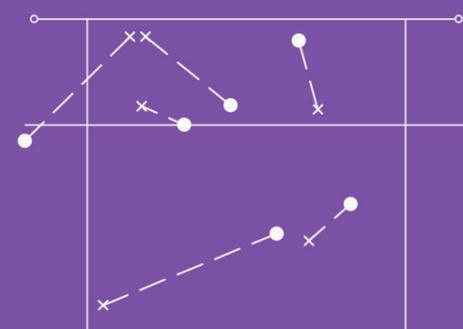
Defensa del ataque por zona 3



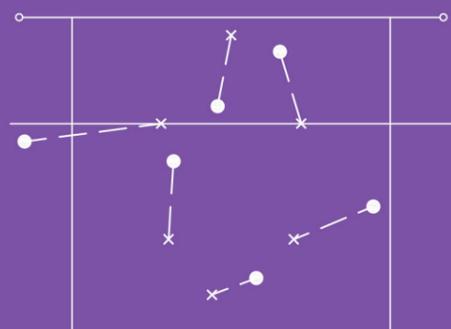
Defensa del ataque por zona 2



Defensa del ataque por zona 1



Defensa del ataque por zona 6



Defensa del ataque por zona 5

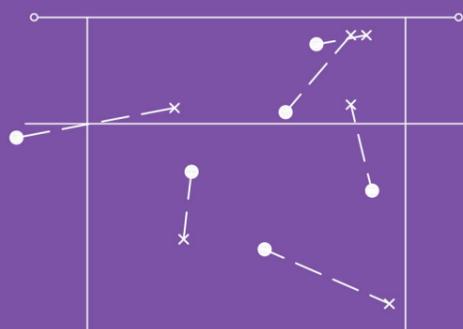


Diagrama de superposición de todos los desplazamientos

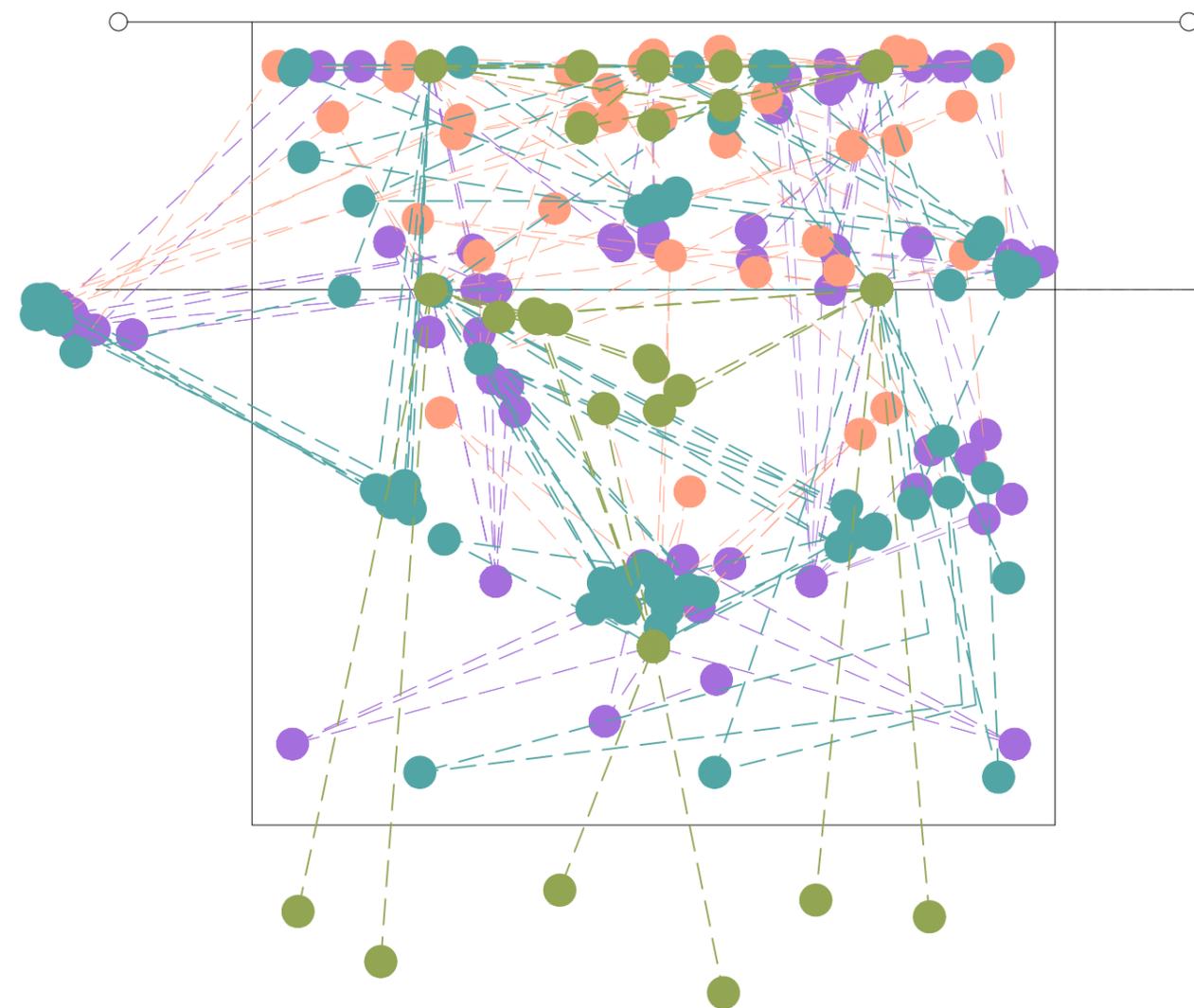
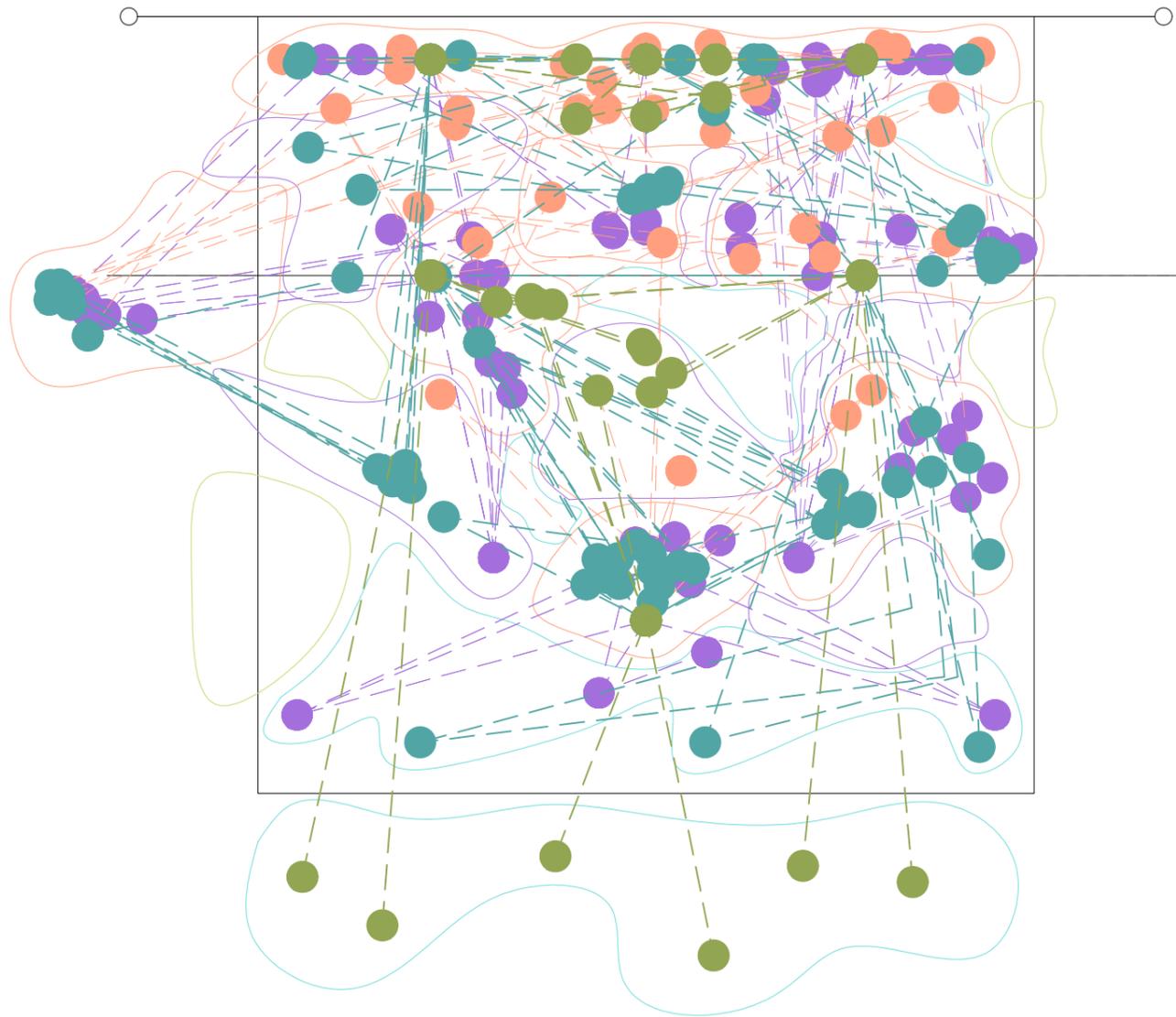
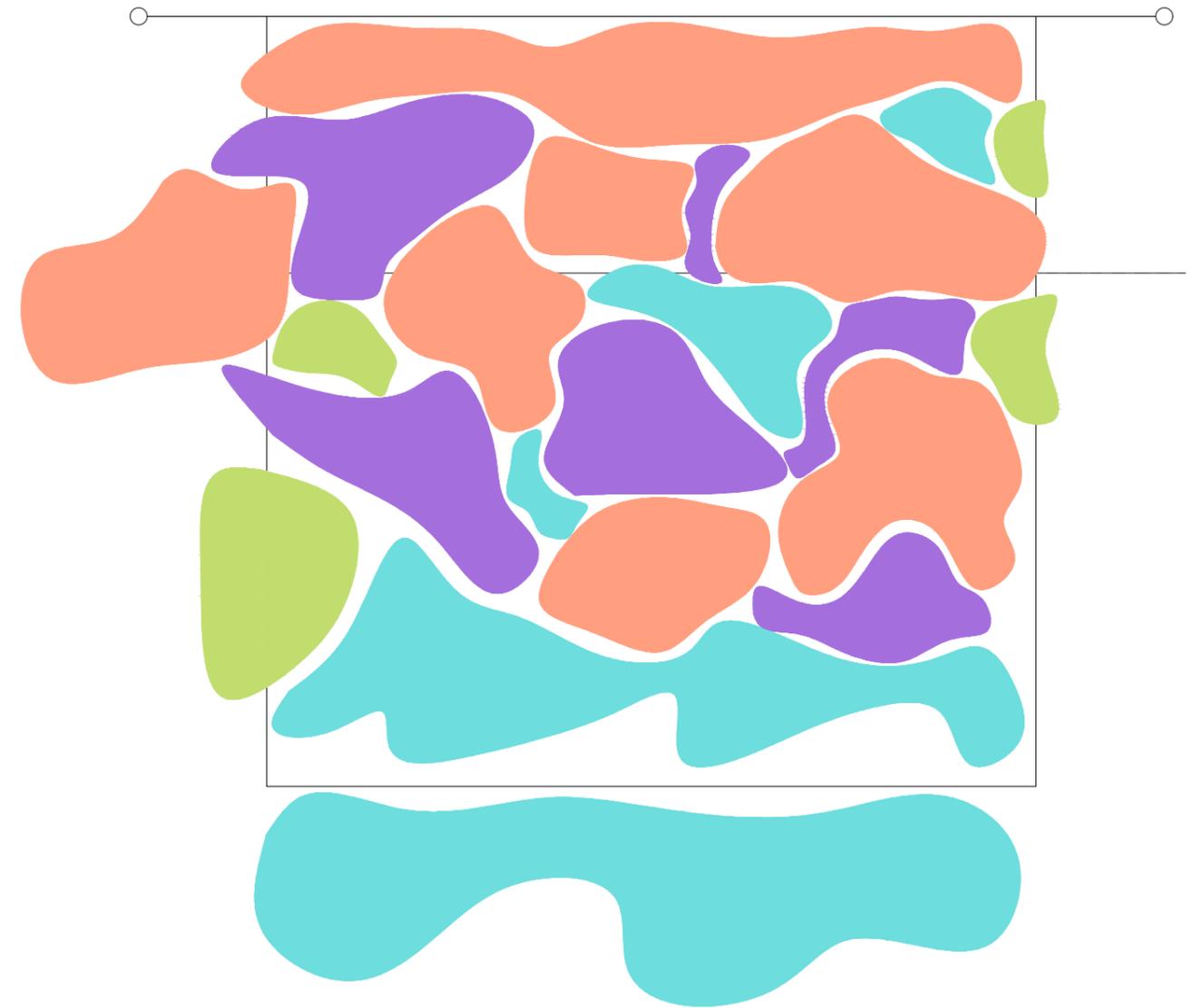


Diagrama de superposición de todos los desplazamientos y determinación de zonas según su grado de actividad y uso



- Zona de alta actividad
- Zona de media actividad
- Zona de baja actividad
- Zonas de actividad nula

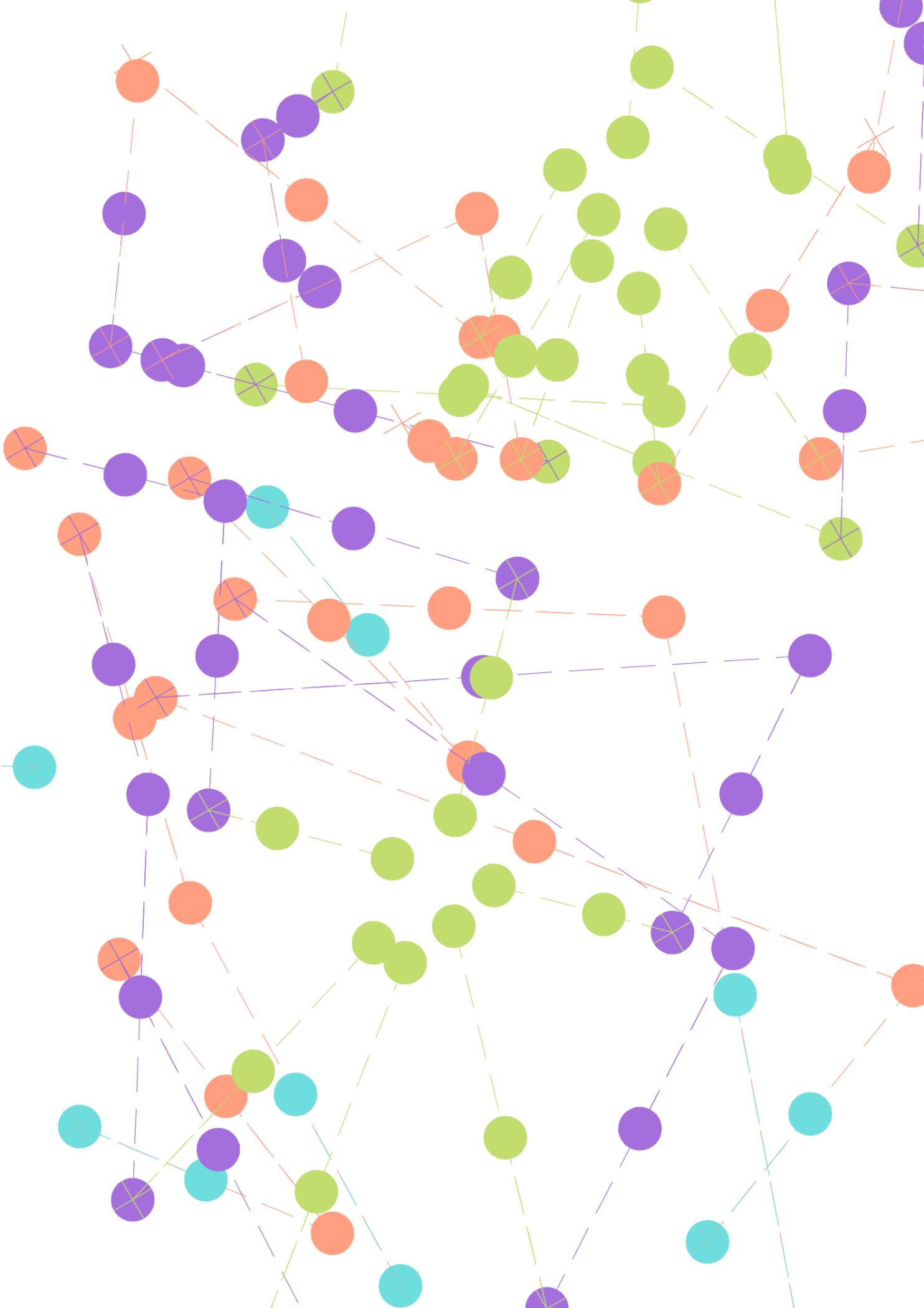
Diagrama de las distintas zonas establecidas según su grado de actividad y uso



- Zona de alta actividad
- Zona de media actividad
- Zona de baja actividad
- Zonas de actividad nula

4

ESTUDIO Y CONFIRMACIÓN DE LA HIPÓTESIS



A continuación, se procede a realizar una serie cálculos a modo de verificaciones con el fin de estimar la cantidad de energía que se es capaz de generar, mediante una serie de datos y factores, en algunos casos específicos para cada situación. De esta manera determinaremos de forma aproximada, a partir de un valor mínimo y un valor máximo, la energía total para tres tipos de situaciones: una hora de entrenamiento, mediante ambos valores (mínimo y máximo) estimaremos la energía generada y la cantidad de pasos que se realizan; una semana de entrenamiento, a partir de los mismos valores que en la situación anterior se hallará la cantidad de energía generada en una semana completa de entrenamiento; y en una jugada de partido, se analizarán los tipos y la cantidad de paso que realizan doce jugadores en una jugada cualquiera durante un partido.

Situación 1: Entrenamiento de una hora

Para este primer caso se plantea un cálculo simple a través de la determinación de dos valores estándares, uno mínimo, que correspondería a una pisada normal, y otro máximo, correspondiendo a una pisada intensa. A partir de estos valores estándares se calculará la cantidad de energía generada en una hora por doce jugadores, estableciendo que cada jugador realiza una única pisada con la misma intensidad en un periodo de tiempo de 5 segundos.

Valor mínimo

DATOS:

V_p = valor pisada; $V_p = 4'5 \mu A$ (microamperios)

Tiempo;

T_m , 1 minuto = 60 segundos

T_h , 1 hora = 60 minutos

A_m = cantidad de amperios en un minuto

A_h = cantidad de amperios en una hora

P = número personas; $P = 12$ personas

N_p = número de pisadas

V_t = voltios totales; $V_t = 5$ v

W_t = vatios totales

CÁLCULO:

1. Número de pisadas que realiza un jugador por minuto.

Como se mencionó anteriormente, se establece que cada jugador realiza un paso siempre cada 5 segundos:

$$N_p = T_m / 5 \text{ segundos};$$

$$N_p = 60 \text{ segundos} / 5 \text{ segundos} = 12 \text{ pasos};$$

$$N_p = 12 \text{ pasos}$$

Un único jugador realiza un número total de 12 pasos por minuto.

2. ¿Cuántos amperios genera un jugador en un minuto?

Cada paso tiene un valor de pisada de $4'5 \mu A$ y se realizan 12 pasos en total:

$$A_m = N_p \times V_p;$$

$$A_m = 12 \text{ pasos} \times 4'5 \mu A = 54 \mu A = 0'000054 \text{ A};$$

$$A_m = 0'000054 \text{ A}$$

Un único jugador es capaz de generar $0'000054 \text{ A}$ en 60 segundos.

3. ¿Cuántos amperios genera un jugador en una hora?

Multiplicamos los amperios obtenidos en la fórmula anterior para un periodo de 60 segundos:

$$Ah = Am \times Th;$$

$$Ah = 54 \mu A \times 60 \text{ minutos} = 3240 \mu A = 0'00324 A;$$

$$Ah = 0'00324 A$$

Valor total de amperios generados por un único jugador en un periodo de tiempo de una hora.

4. ¿Cuántos amperios generarían 12 jugadores en una hora?

Multiplicamos el valor de los amperios producidos en una hora por el número total de jugadores:

$$AhTotal = Ah \times P;$$

$$AhTotal = 3240 \mu A \times 12 \text{ jugadores} = 38880 \mu A = 0'03888 A;$$

$$AhTotal = 0'03888 A$$

Como resultado final, aplicando el valor mínimo establecido, en una hora 12 jugadores son capaces de general un total de 0'03888 A.

Teniendo en cuenta que el valor total de voltios que generamos para este amperaje equivale a 5, podríamos obtener la cantidad de vatios producidos mediante la Ley de Ohm, donde se multiplican los amperios y los voltios, por tanto:

$$Wt = A \times V;$$

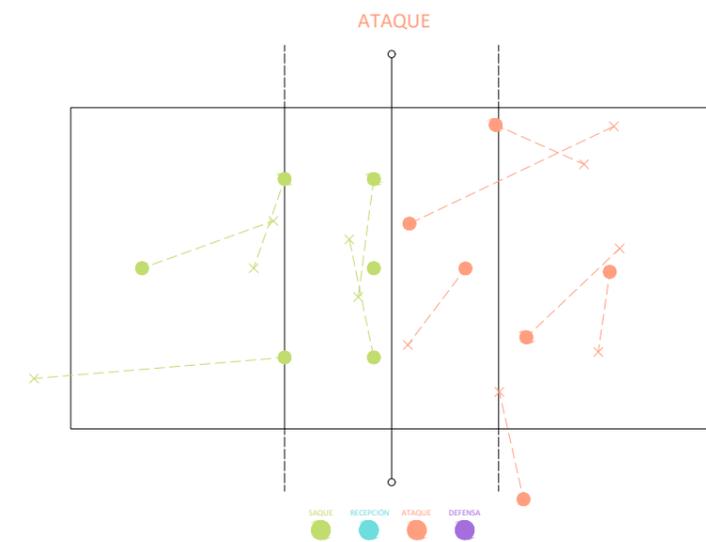
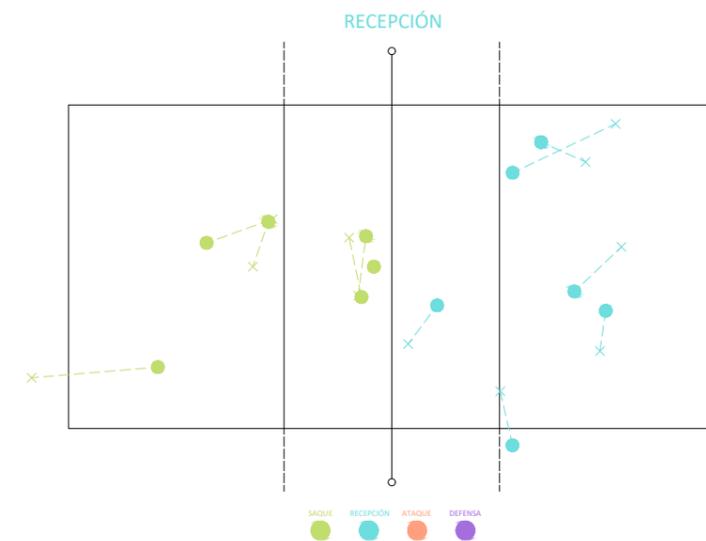
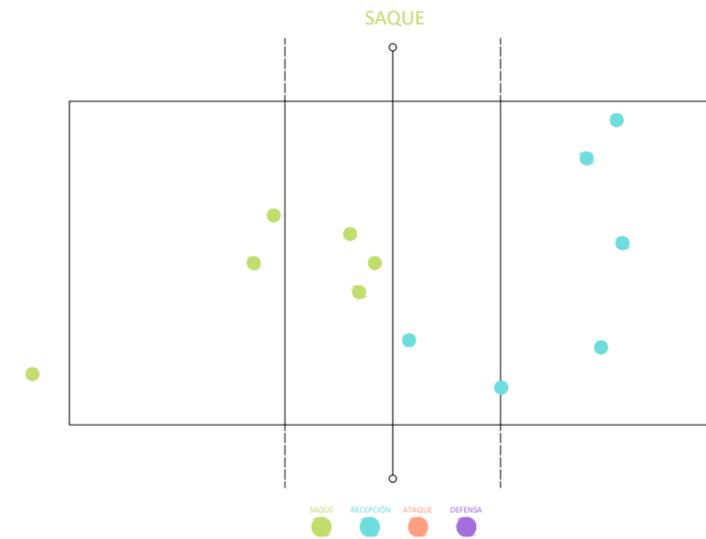
$$Wt = 0'03888 A \times 5 V = 0'1944 W;$$

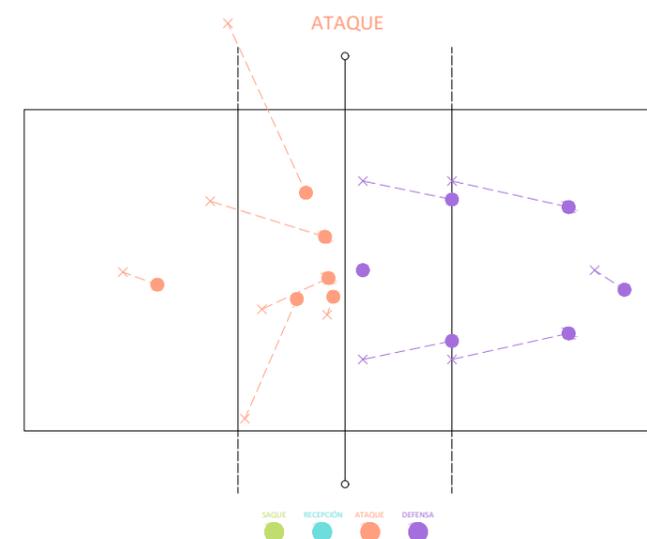
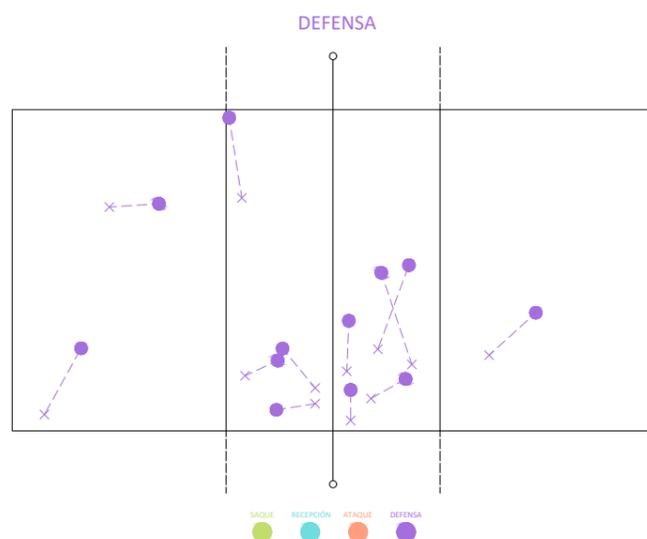
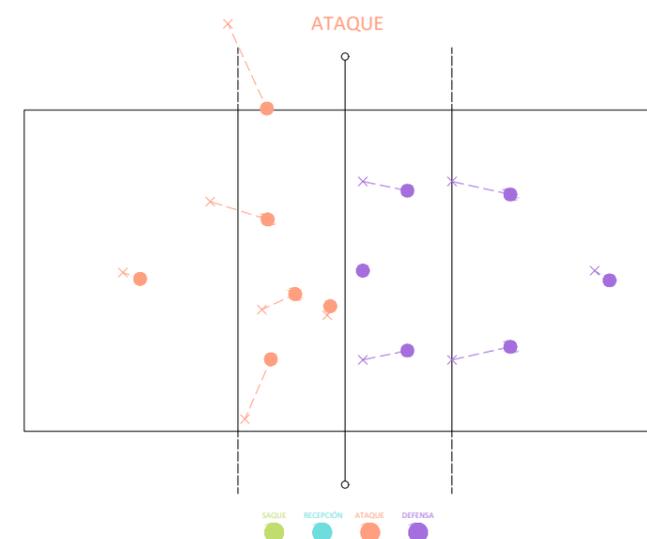
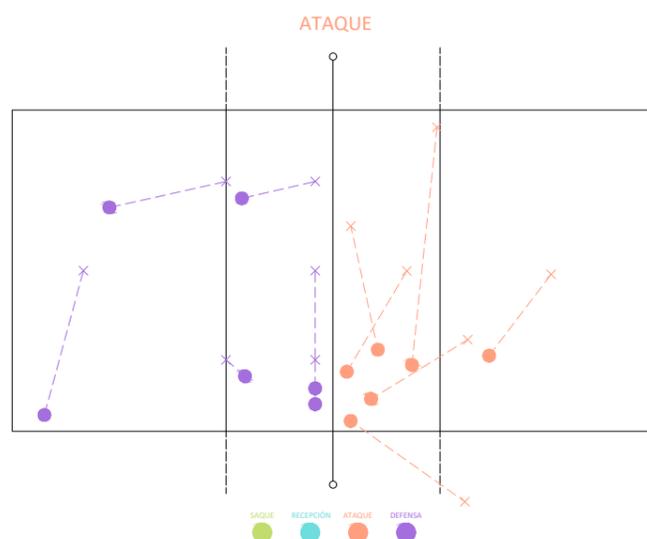
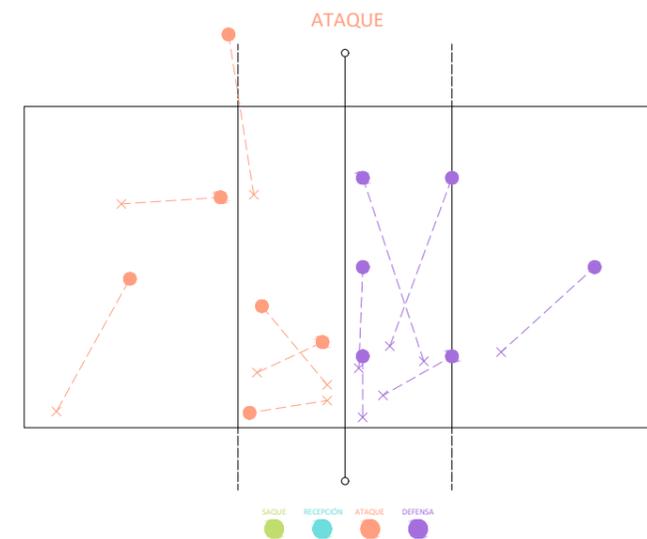
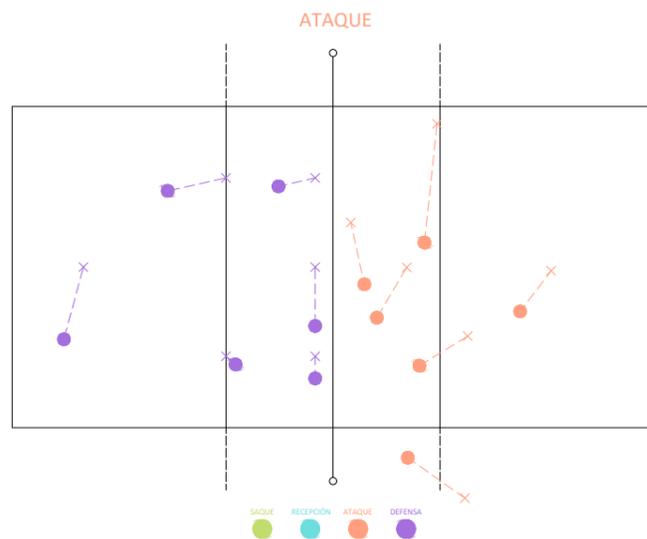
$$Wt = 0'1944 W$$

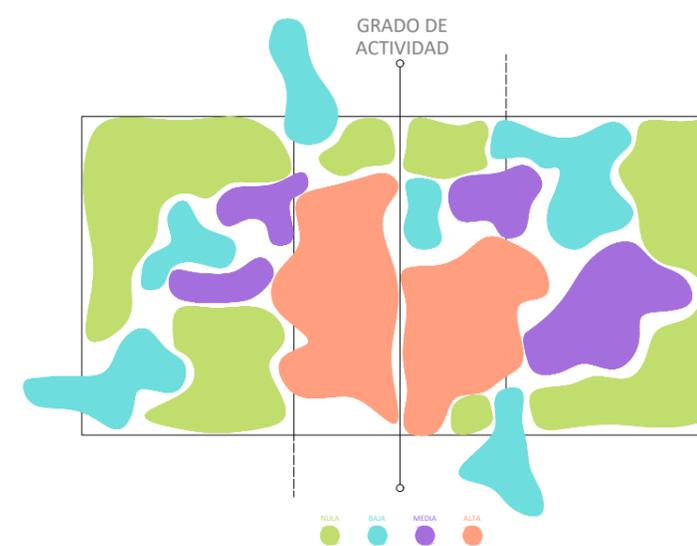
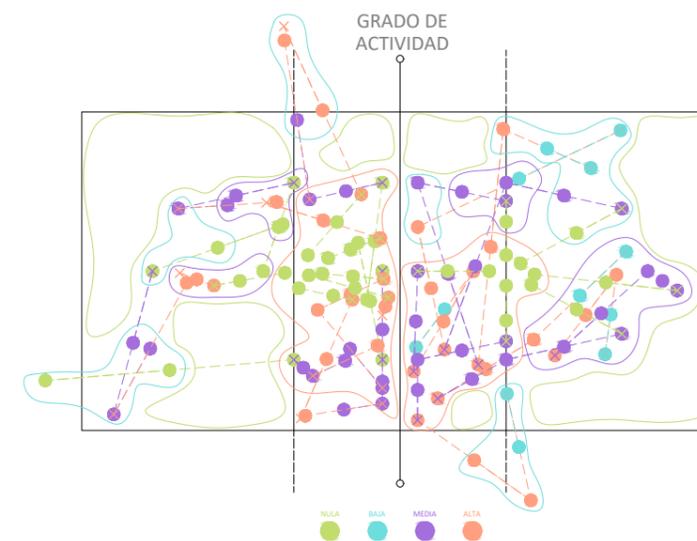
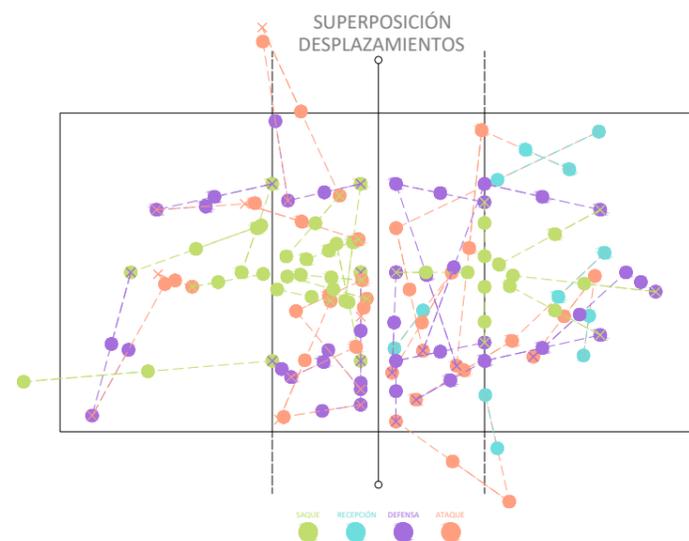
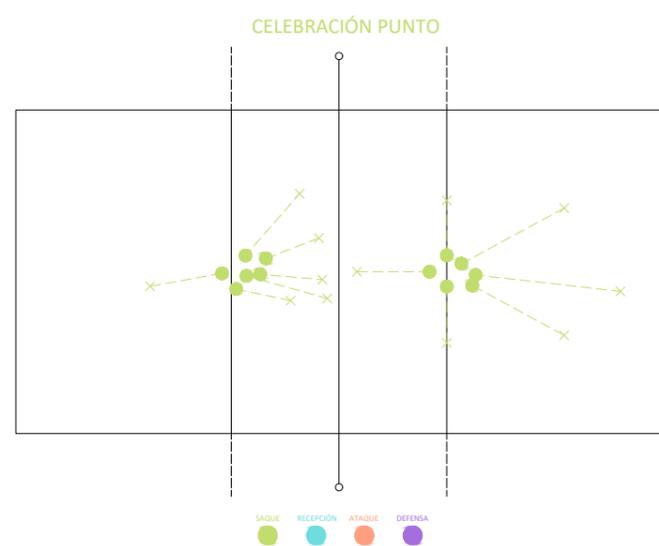
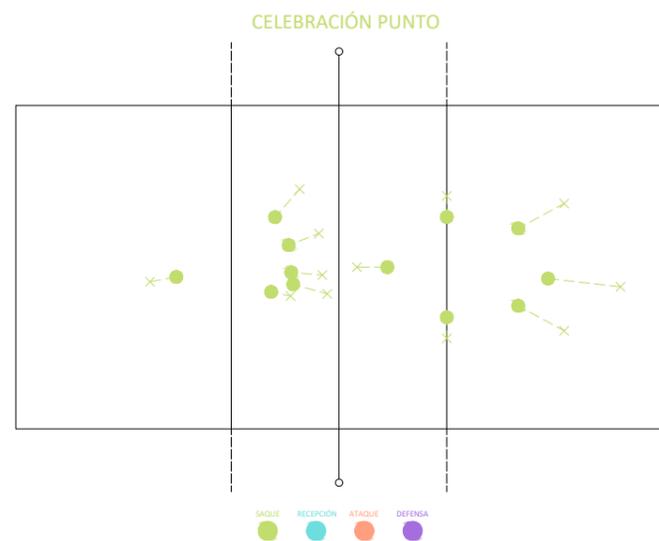
En una hora de entrenamiento genero 0'1944 vatios.

Atlas 3.
Despliegue de desplazamientos de la situación 1.

En esta sucesión de imágenes se desarrollan los desplazamientos realizados, analizados y calculados de la situación 1, en la que se muestran los movimientos ejecutados por los jugadores en una jugada cualquiera. Además de una superposición de los mismos para determinar las zonas de la pista más frecuentadas y utilizadas para dicha situación, observando así las partes de la cancha propensas a desgastarse con mayor facilidad, implicando un mayor deterioro de los sensores ubicados en las mismas.







Situación 2: Entrenamiento semanal

Esta segunda verificación seguirá las mismas reglas que la primera, utilizando para el cálculo el mismo valor mínimo y máximo, pero en este caso se realizará para hallar la cantidad de energía producida en una semana de entrenamiento. Para ello se ha establecido un calendario con el fin de visualizar y cuantificar la cantidad de horas totales de utilización del pabellón, dividiéndolo en dos categorías, la categoría de superliga y la categoría de cantera.

Horario semanal de entrenamientos	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
9:00-10:00	SUPERLIGA		SUPERLIGA		SUPERLIGA	SUPERLIGA
10:00-11:00	SUPERLIGA		SUPERLIGA		SUPERLIGA	SUPERLIGA
15:00-16:00	SUPERLIGA		SUPERLIGA		SUPERLIGA	
16:00-17:00	SUPERLIGA		SUPERLIGA		SUPERLIGA	
17:00-18:00	Cantera	Cantera	Cantera	Cantera	Cantera	
18:00-19:00	Cantera	Cantera	Cantera	Cantera	Cantera	
19:00-20:00	Cantera	Cantera	Cantera	Cantera	SUPERLIGA	
20:00-21:00	SUPERLIGA	Cantera	SUPERLIGA	Cantera	SUPERLIGA	
21:00-22:00	SUPERLIGA	Cantera	SUPERLIGA	Cantera		

A partir del horario semanal observamos que:

1. La categoría de superliga, la cual se divide en dos subcategorías (masculina, violeta, y femenina, azul), entrena en una única cancha tres días a la semana tres horas al día cada subcategoría, y dos horas ambas categorías los sábados por la mañana, haciendo un total de 20 horas semanales de entrenamiento.

2. La categoría de cantera se divide en subcategorías en base al rango de edad de los jugadores, pero para el cálculo no será necesario especificar el número de subcategorías que existen, ya que únicamente nos interesan las horas de entrenamiento. Cada subcategoría entrena una hora al día, por lo que se utilizan de manera simultánea cuatro canchas, lo que significa que cada hora entrenan cuatro grupos al mismo tiempo. Si multiplicamos el número de horas semanales por el número máximo de grupos establecido para entrenar cada hora, 4 grupos, obtendríamos un total de 72 horas semanales de entrenamiento por parte de la cantera.

Podríamos afirmar entonces que semanalmente se entrena un número total de 92 horas. Conociendo las horas totales y estableciendo para el cálculo, al igual que en la verificación 1, que hay doce jugadores en cancha, procedemos al desarrollo del cálculo de la energía que se genera en una semana a partir de los valores mínimo y máximo.

Valor mínimo

DATOS:

HS = horas de entrenamiento de superliga; HS = 20 horas

HC = horas de entrenamiento de la cantera; HC = 72 horas

AhTotal = amperios generados por 12 jugadores en una hora con el valor mínimo; AhTotal = 0'03888A (Valor hallado en la primera verificación)

Asemanal = amperios generados en una semana

Vt = voltios totales; Vt = 5 v

Wt = vatios totales

CÁLCULO:

Para obtener el valor de amperaje semanal multiplicaremos las horas totales de entrenamiento por los amperios generados por 12 jugadores en una hora:

$$\begin{aligned} \text{Asemanal} &= (\text{HS} + \text{HC}) \times \text{AhTotal}; \\ \text{Asemanal} &= (20 + 72) \times 0'03888 = 92 \times 0'03888 = 3'58 \text{ A}; \\ \text{Asemanal} &= 3'58 \text{ A} \end{aligned}$$

Obtenemos un amperaje semanal de 3'58 A.

A partir de los voltios hallamos los vatios totales generados:

$$\begin{aligned} \text{Wt} &= \text{A} \times \text{V}; \\ \text{Wt} &= 3'58 \text{ A} \times 5 \text{ V} = 17'9 \text{ W}; \\ \text{Wt} &= 17'9 \text{ W} \end{aligned}$$

Valor máximo

DATOS:

HS = horas de entrenamiento de superliga; HS = 20 horas

HC = horas de entrenamiento de la cantera; HC = 72 horas

AhTotal = amperios generados por 12 jugadores en una hora con el valor máximo; AhTotal = 4'32 A (Valor hallado en la primera verificación)

Asemanal = amperios generados en una semana

Vt = voltios totales; Vt = 40 v

Wt = vatios totales

CÁLCULO:

$$Asemanal = (HS + HC) \times AhTotal;$$

$$Asemanal = (20 + 72) \times 4'32 = 92 \times 4'32 = 397'44 \text{ A};$$

$$Asemanal = 397'44 \text{ A}$$

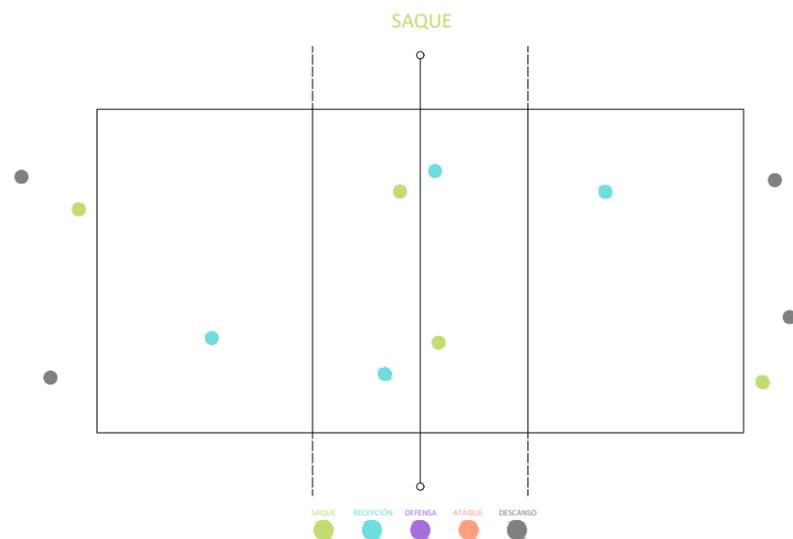
Obtenemos un amperaje semanal de 397'44 A.

A partir de los voltios hallamos los vatios totales generados:

$$Wt = A \times V;$$

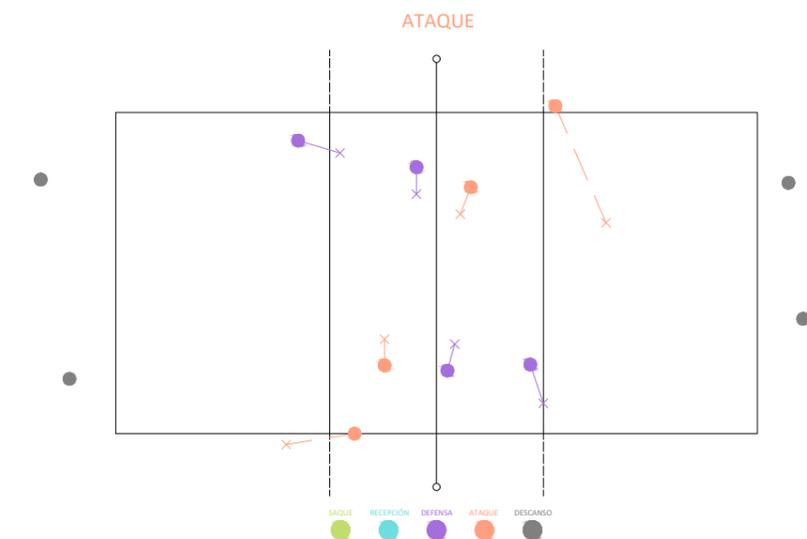
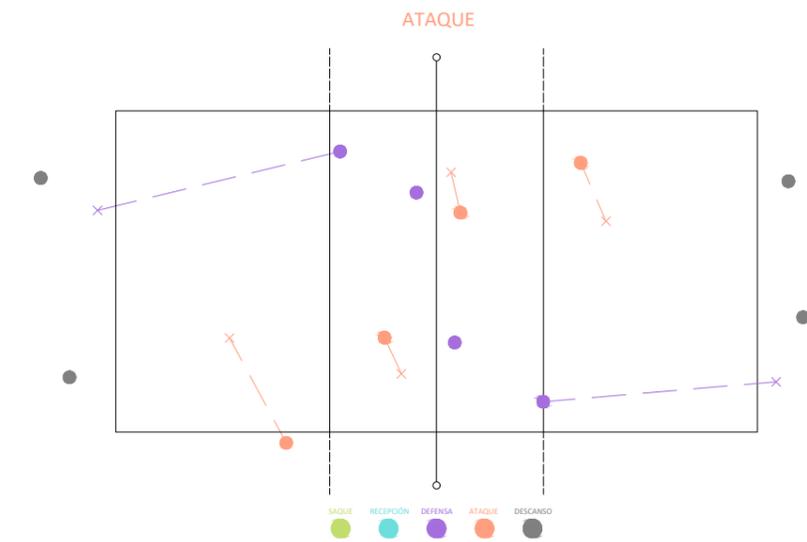
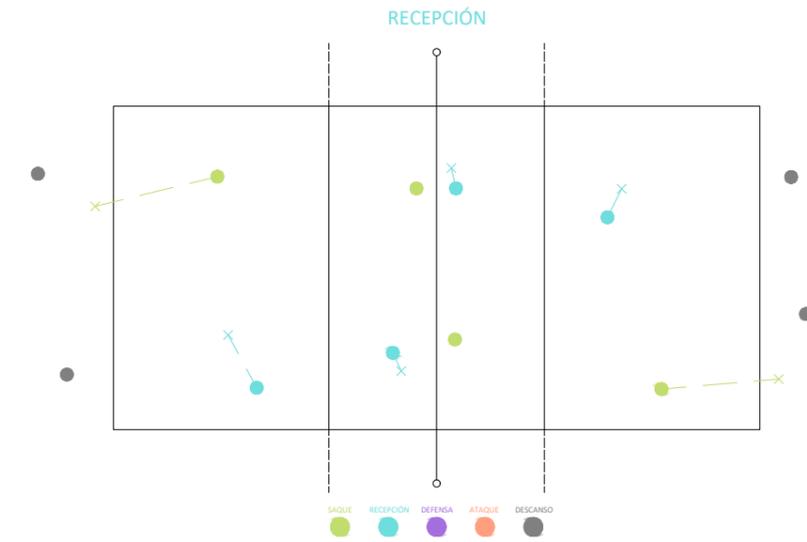
$$Wt = 397'44 \text{ A} \times 40 \text{ V} = 15897'6 \text{ W};$$

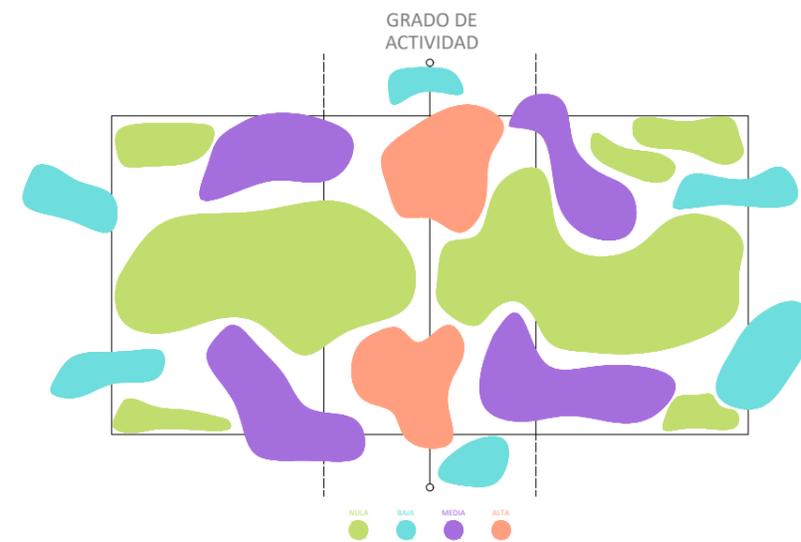
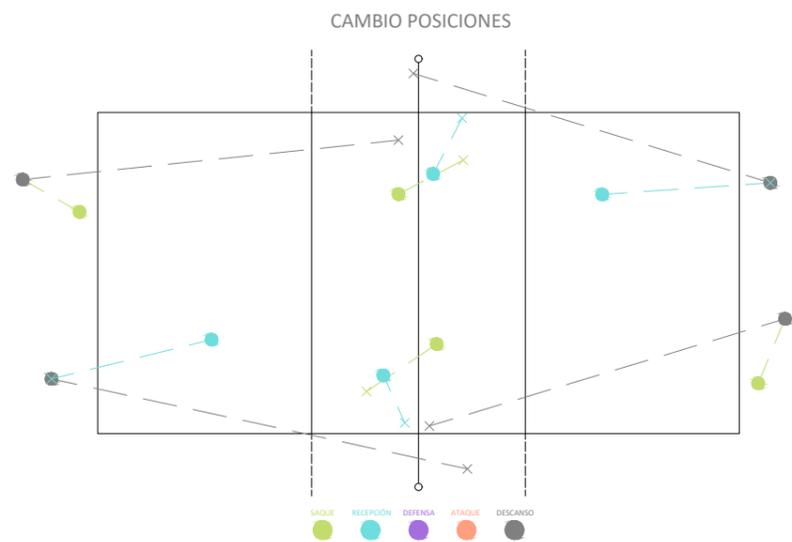
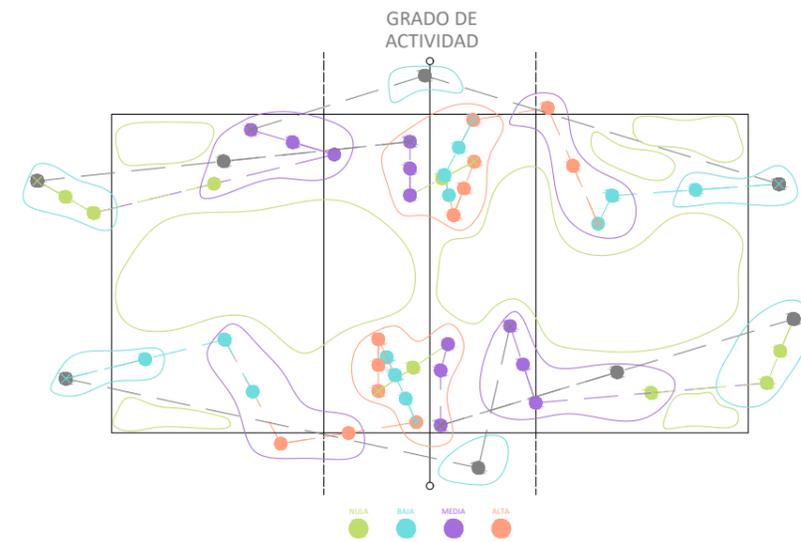
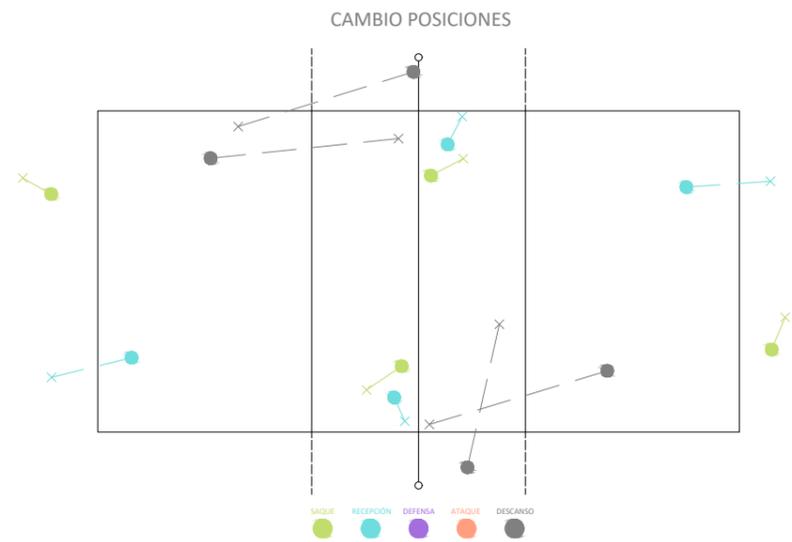
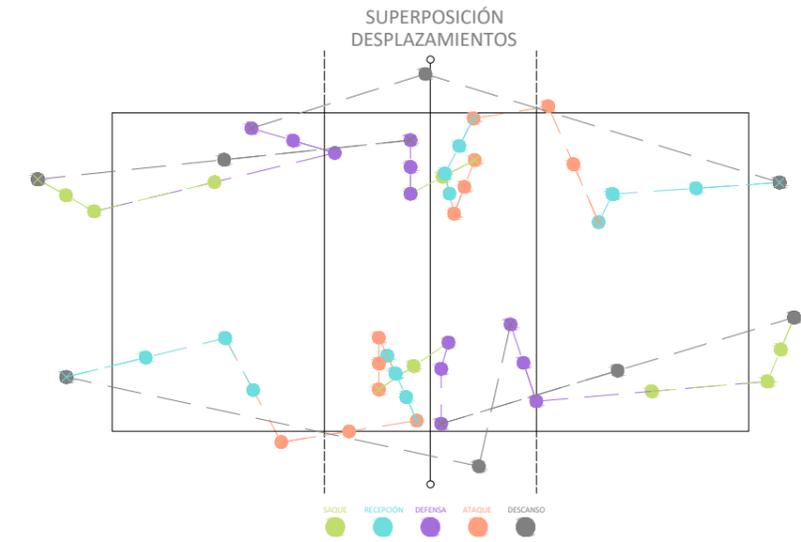
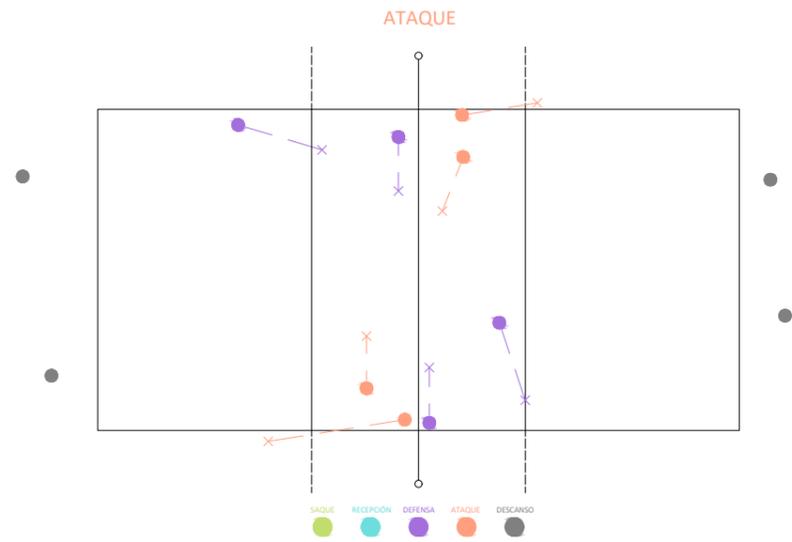
$$Wt = 15897'6 \text{ W}$$



Atlas 4. Despliegue de desplazamientos de la situación 2.

En esta sucesión de imágenes se desarrollan los desplazamientos realizados, analizados y calculados de la situación 2, en la que se muestran los movimientos ejecutados por los jugadores en un ejercicio cualquiera de entrenamiento. Además de una superposición de los mismos para determinar las zonas de la pista más frecuentadas y utilizadas para dicha situación, observando así las partes de la cancha propensas a desgastarse con mayor facilidad, implicando un mayor deterioro de los sensores ubicados en las mismas.





Situación 3: Jugada de partido

Esta tercera situación se realizará de manera distinta a las anteriores, ya que a partir de una jugada se analizará la diferencia de valores obtenidos en base al paso que se realice en cada acción. Por tanto analizaremos las siguientes acciones: desplazamiento o paso normal, pisadas realizadas al caminar de manera normal, serán principalmente los pasos efectuados antes de que el balón esté en juego y los que se realizan al celebrar los puntos; la batida, concretamente la pisada más intensa que corresponde al segundo paso de la misma, este valor se utilizará también para el paso final que se realiza a la hora de impulsarse para saltar al bloqueo; el bloqueo, utilizando el valor de la fuerza que se realiza al caer después de haber saltado a bloquear, este valor se utilizará para la caída que se produce después del ataque; desplazamiento de defensa, representa cualquier desplazamiento que se realice mientras está en juego el balón.

Para asemejar el cálculo a la realidad se hará uso del prototipo para hallar, mediante la realización de las cuatro acciones, una media entre las pisadas de dos jugadores de alturas y pesos distintos. Con estos valores intermedios analizaremos y dibujaremos posteriormente una jugada cualquiera.

Valores obtenidos de la prueba con el prototipo

En primer lugar, según cada acción, se mostrará una secuencia de imágenes para visualizar la realización de la prueba por cada sujeto, mostrando a continuación los resultados finales de cada uno y el valor intermedio que se utilizará posteriormente para los cálculos.

Datos de los sujetos realizadores de la prueba:

-Sujeto 1: Altura = 1'68 m; Peso = 55 kg

-Sujeto 2: Altura = 1'94 m; Peso = 83 kg

Acción 1:

Paso normal

1. Desarrollo de la prueba por el primer sujeto:



Resultado acción 1, sujeto 1:
Valor en microamperios del paso realizado, obtenido con un tester conectado a los cables positivo y negativo del prototipo.



2. Desarrollo de la prueba por el segundo sujeto:



Resultado acción 1, sujeto 2:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



3. Resultados de la acción y obtención del valor intermedio para el desarrollo del cálculo:



Sujeto 1 ————— Sujeto 2

136'7 μ A ————— 202'9 μ A

169'8 μ A*

Esta acción, como se explicó antes, se realiza en el momento en el que el balón no se encuentra en juego, es decir, en los desplazamientos que se efectúen antes de la realización del saque y los que se realicen cuando los jugadores o jugadoras se dirijan al centro del campo para la celebración del punto una vez el balón haya entrado en contacto con el suelo de nuevo.

*Valor intermedio:
resto ambos valores, el resultado lo
divido entre dos y el valor de la
división se lo sumo al valor más bajo
obtenido en la prueba.

Acción 2:
Batida

1. Desarrollo de la prueba por el primer sujeto:



Resultado acción 2, sujeto 1:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



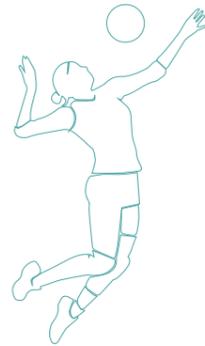
2. Desarrollo de la prueba por el segundo sujeto:



Resultado acción 2, sujeto 2:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



3. Resultados de la acción y obtención del valor intermedio para el desarrollo del cálculo:



El paso a tener en cuenta en esta acción será con el que se aplique más fuerza a la hora de realizar los tres pasos que componen la batida, concretamente el segundo, siendo el efectuado con el pie derecho para los jugadores diestros y con el pie izquierdo para los zurdos. También se contabilizará esta pisada cuando se efectúe el paso final antes de realizar el salto de bloqueo.

Acción 3:
Bloqueo

1. Desarrollo de la prueba por el primer sujeto:



Resultado acción 3, sujeto 1:
Valor en microamperios del paso realizado, obtenido con un tester conectado a los cables positivo y negativo del prototipo.



2. Desarrollo de la prueba por el segundo sujeto:



Resultado acción 3, sujeto 2:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



3. Resultados de la acción y obtención del valor intermedio para el desarrollo del cálculo:



Sujeto 1 ————— Sujeto 2
270'7 μ A ————— 306'2 μ A
288'45 μ A

Para esta tercera acción nos centraremos en la caída que se realiza tanto después de haber efectuado el salto de bloqueo como al caer después del ataque. Por lo general esta caída se realiza con los dos pies a la vez, sobre todo después de haber saltado a bloquear, por ello para los cálculos se utilizará el valor intermedio obtenido en las pruebas una vez por cada contacto inmediato con el suelo posterior a la realización de dichos saltos.

Acción 4:
Defensa

1. Desarrollo de la prueba por el primer sujeto:



Resultado acción 4, sujeto 1:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



2. Desarrollo de la prueba por el segundo sujeto:



Resultado acción 4, sujeto 2:
Valor en microamperios del paso
realizado, obtenido con un tester
conectado a los cables positivo y
negativo del prototipo.



3. Resultados de la acción y obtención del valor intermedio para el desarrollo del cálculo:



Sujeto 1 ————— Sujeto 2

276'9 μ A ————— 214 μ A

245'45 μ A

En esta última acción se contabilizarán todos los pasos realizados mientras el balón esté en juego. Este tipo de pisadas será más instensas que las de los pasos normales, ya que los desplazamientos se realizan de forma más energética y rápida.

Voltios ⁽⁹⁾

1. Desarrollo de la prueba por el primer sujeto:



(9) Voltios:
El valor de los voltios es el mismo para las cuatro acciones, ya que debido al tipo de conexión escogida para los sensores del sistema de pavimento, conexión en serie, el valor del voltaje se mantiene constante independientemente de la acción y el desplazamiento que se realice.

Resultado voltios, sujeto 1:
Valor en microamperios del paso realizado, obtenido con un tester conectado a los cables positivo y negativo del prototipo.



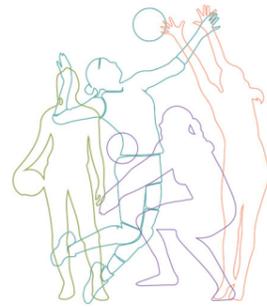
2. Desarrollo de la prueba por el segundo sujeto:



Resultado voltios, sujeto 2:
Valor en microamperios del paso realizado, obtenido con un tester conectado a los cables positivo y negativo del prototipo.



3. Resultados de la acción y obtención del valor intermedio para el desarrollo del cálculo:



Sujeto 1 ————— Sujeto 2

30'04 V ————— 32'48 V

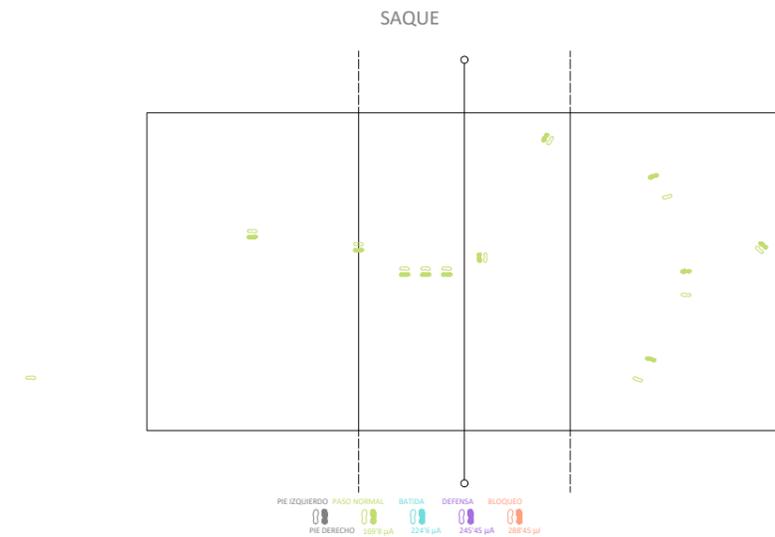
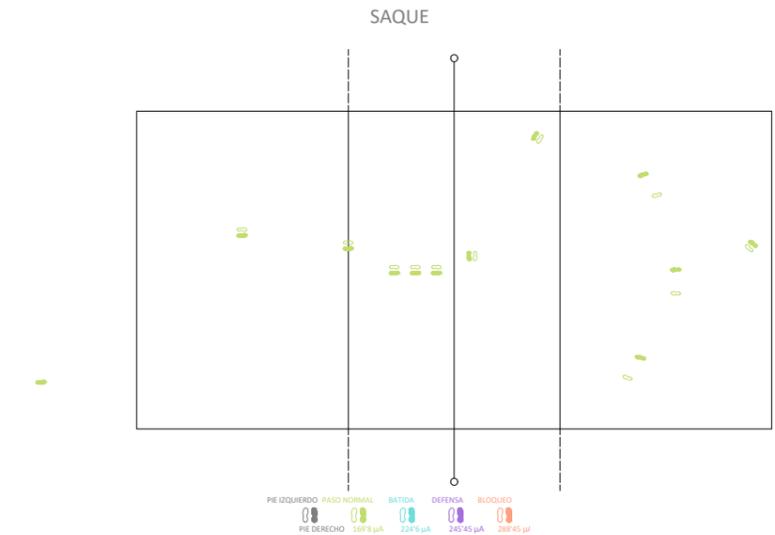
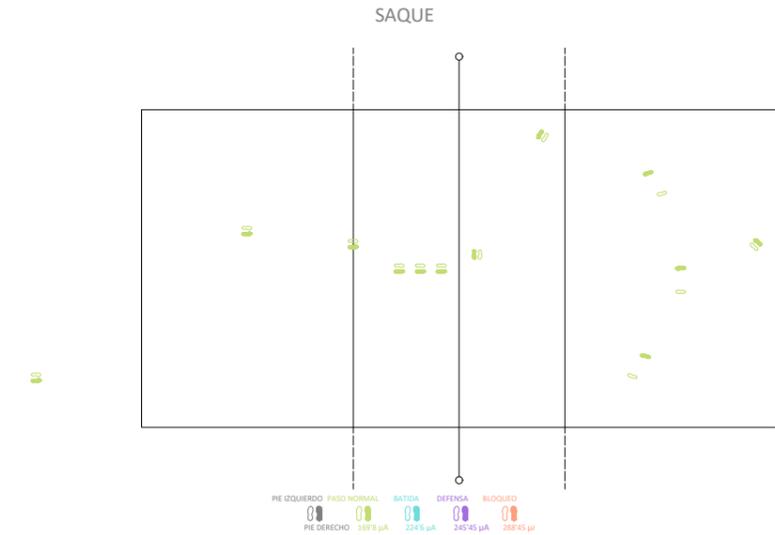
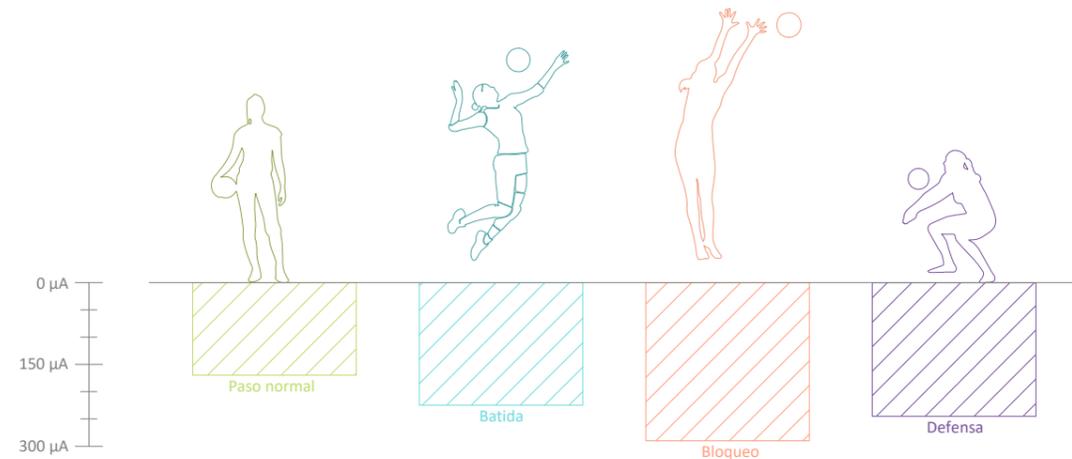
33'26 V

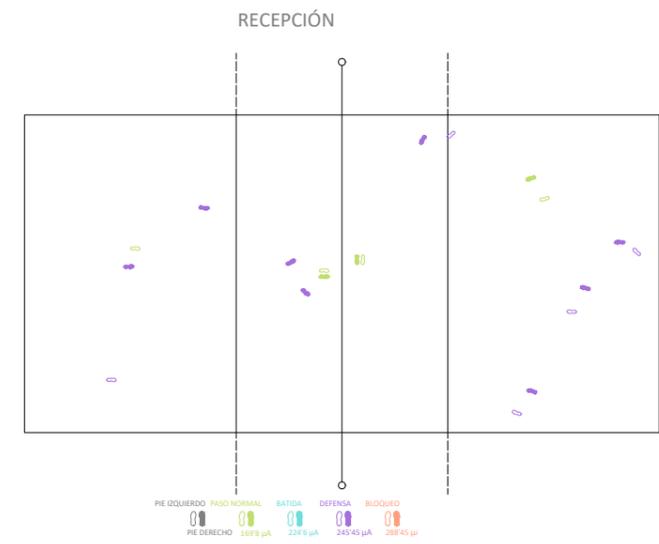
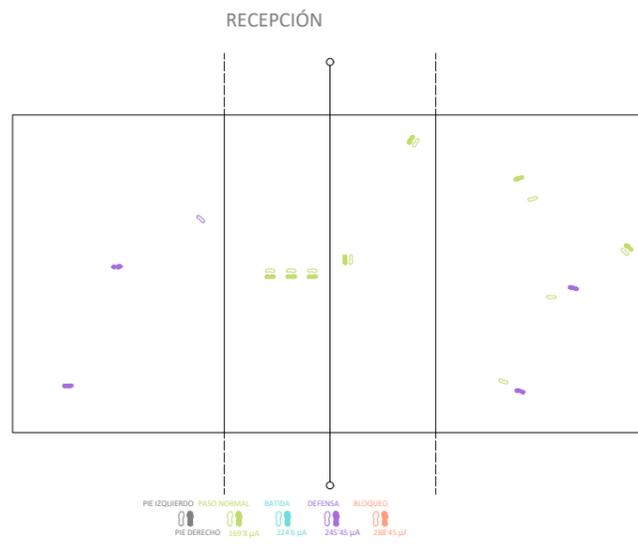
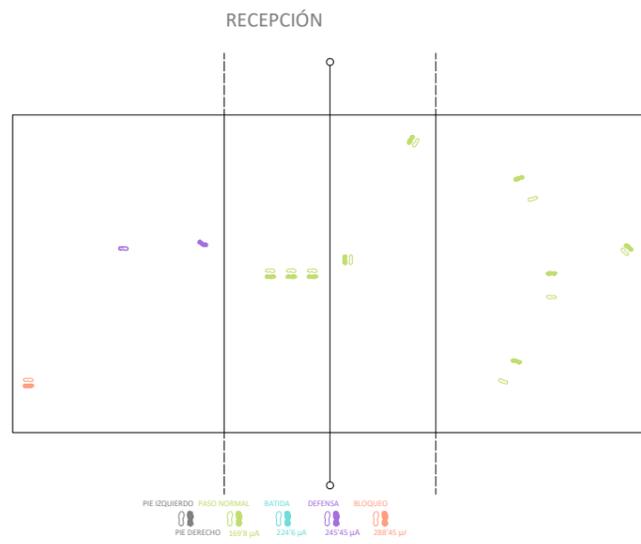
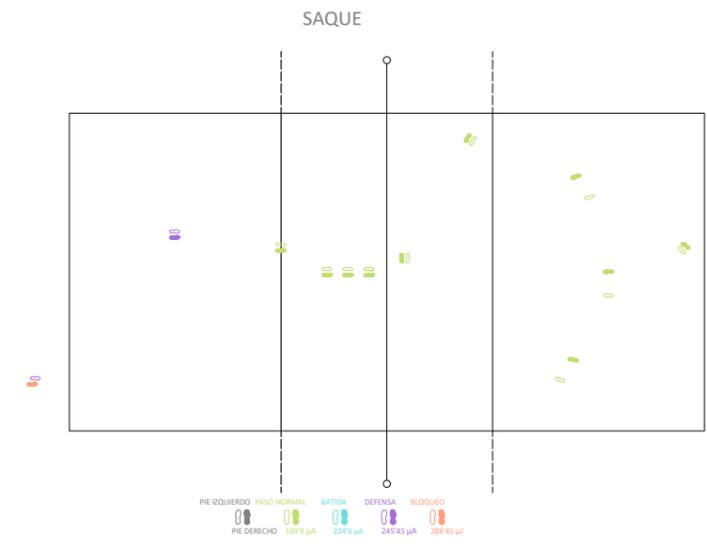
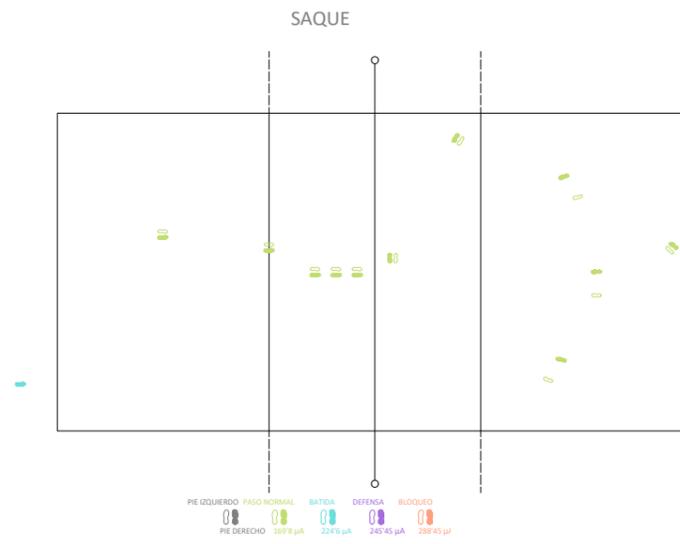
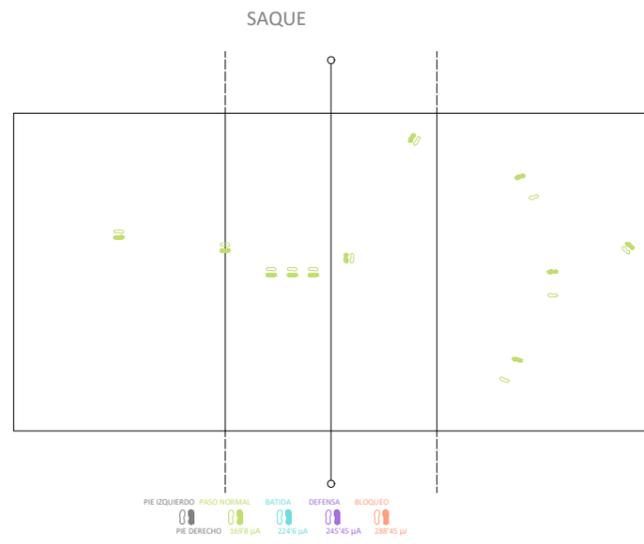
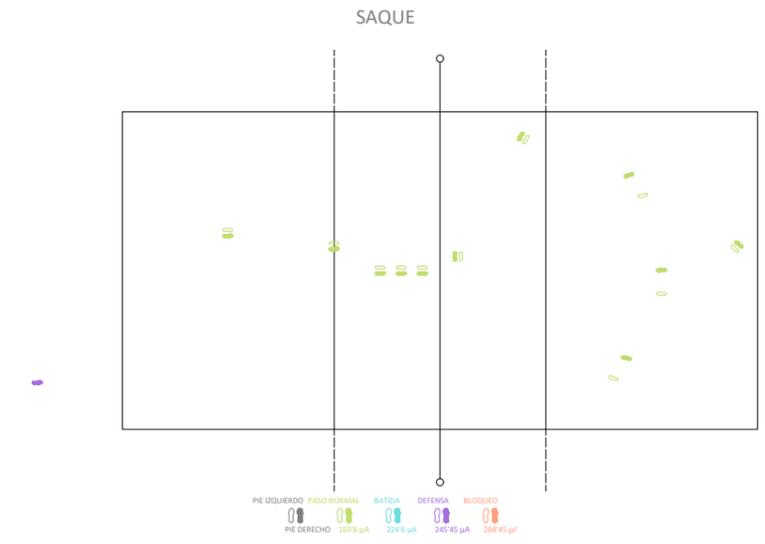
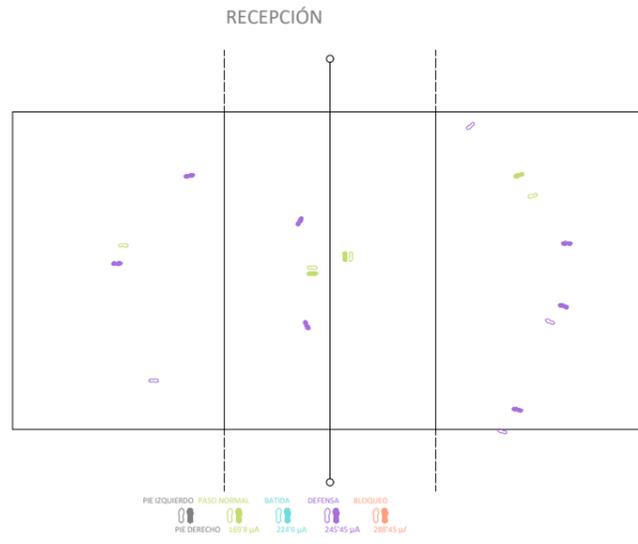
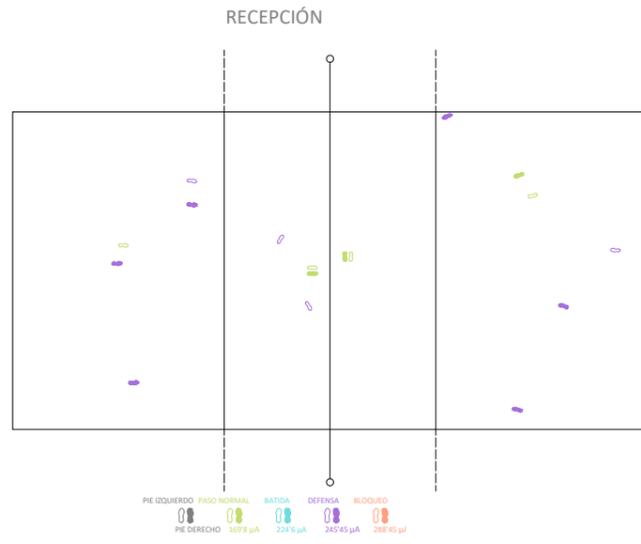
En esta última acción se contabilizarán todos los pasos realizados mientras el balón esté en juego. Este tipo de pisadas será más instensas que las de los pasos normales, ya que los desplazamientos se realizan de forma más enérgica y rápida.

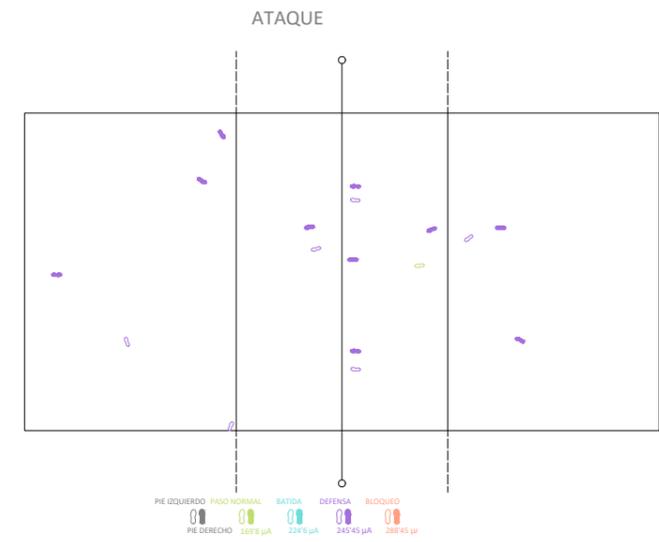
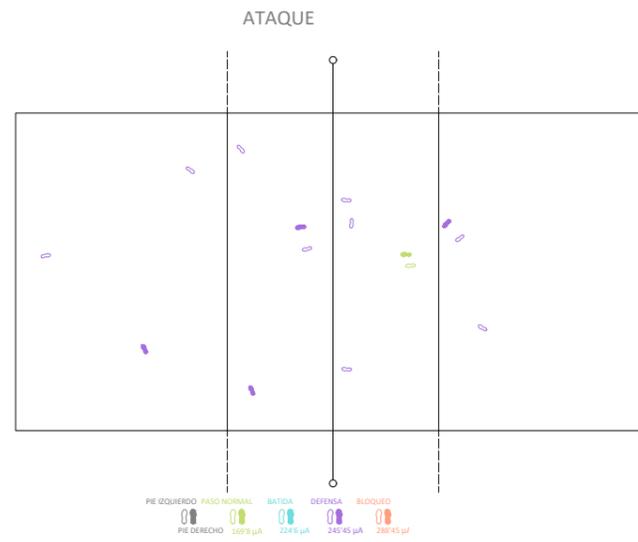
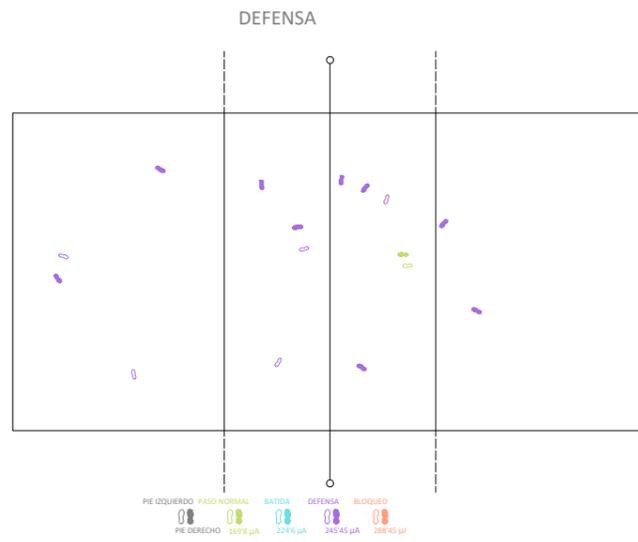
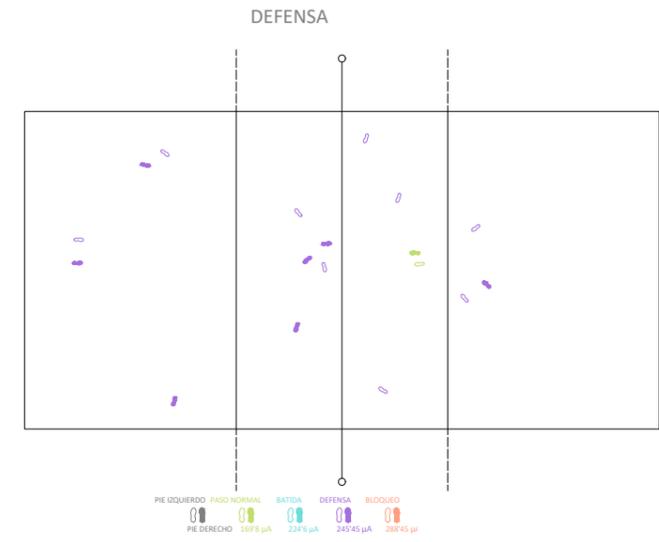
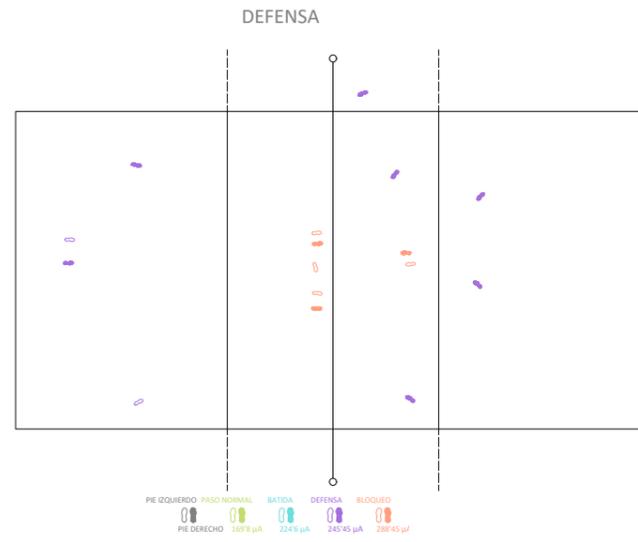
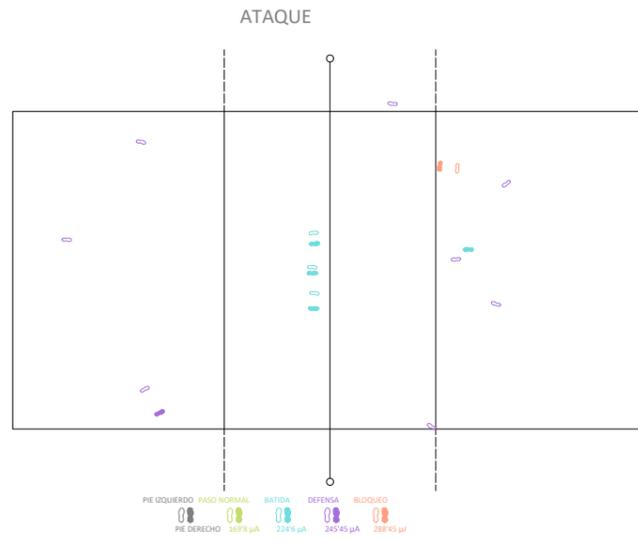
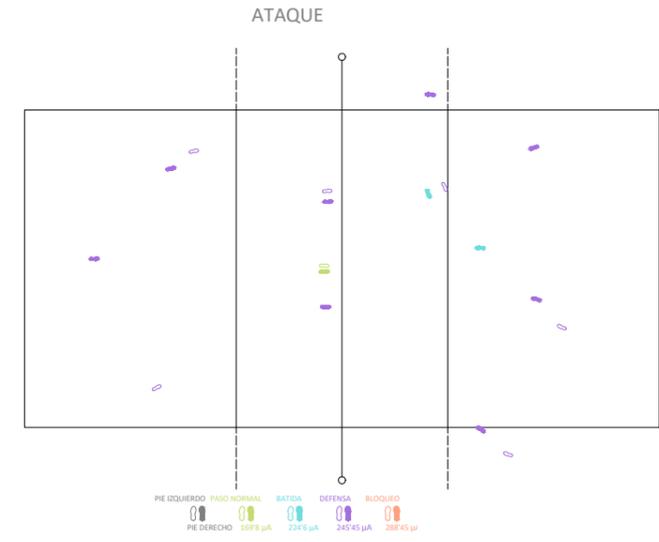
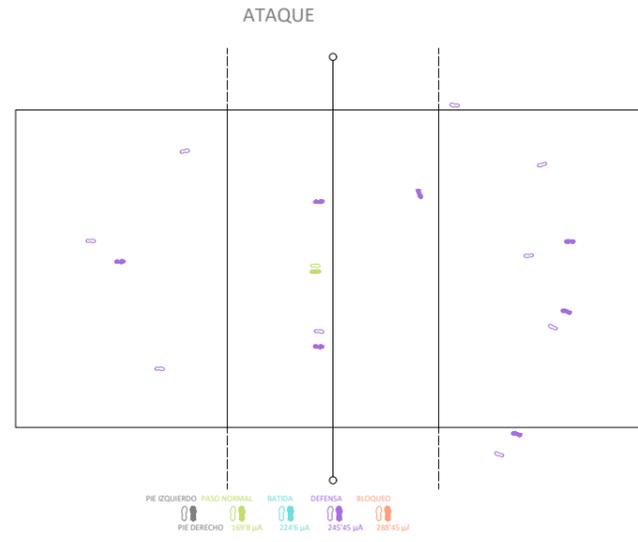
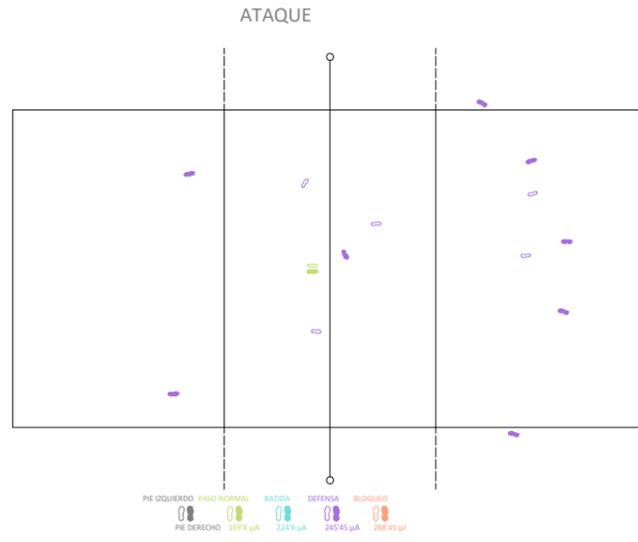
A continuación se muestra un diagrama con los valores intermedios finales obtenidos en las distintas acciones, como se puede observar, la acción de bloqueo es la que más energía genera. Además se confirma que la altura y peso de los sujetos no afecta a la intensidad de su pisada, ya que cada uno realiza el movimiento de manera distinta aplicando fuerzas diferentes.

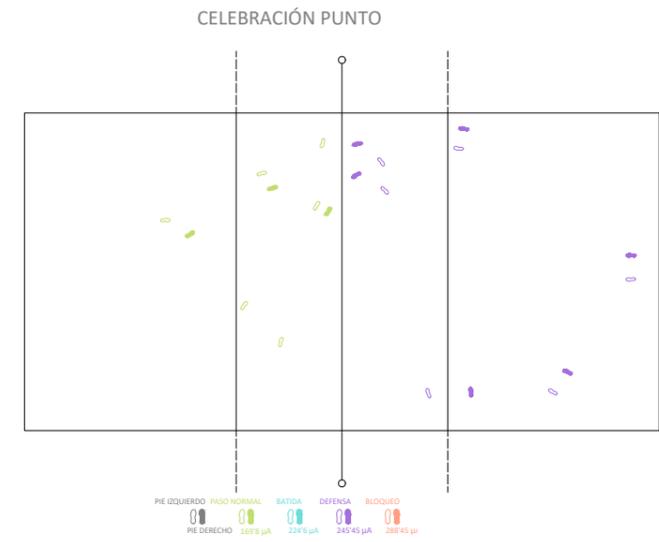
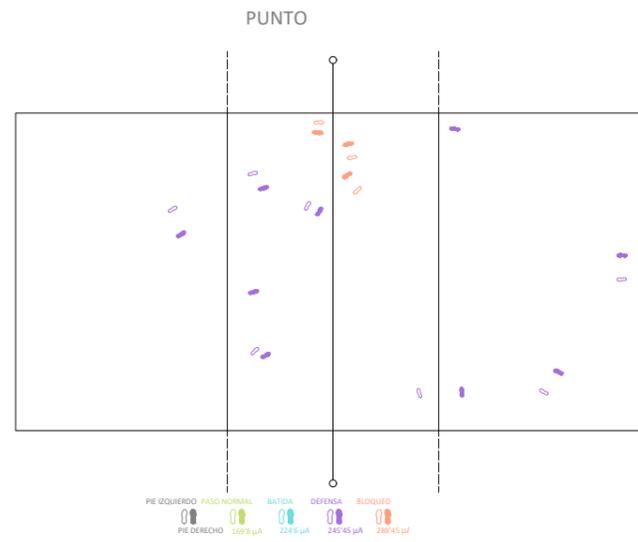
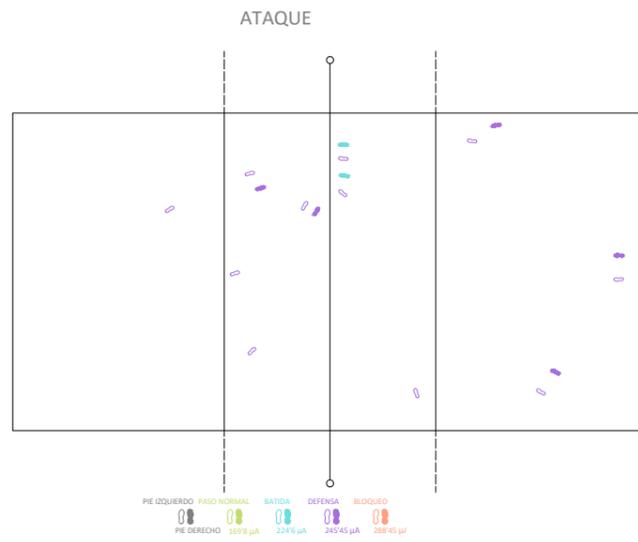
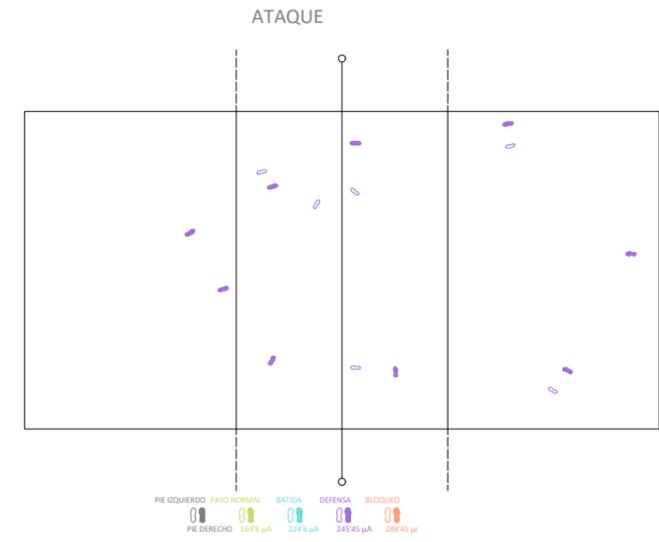
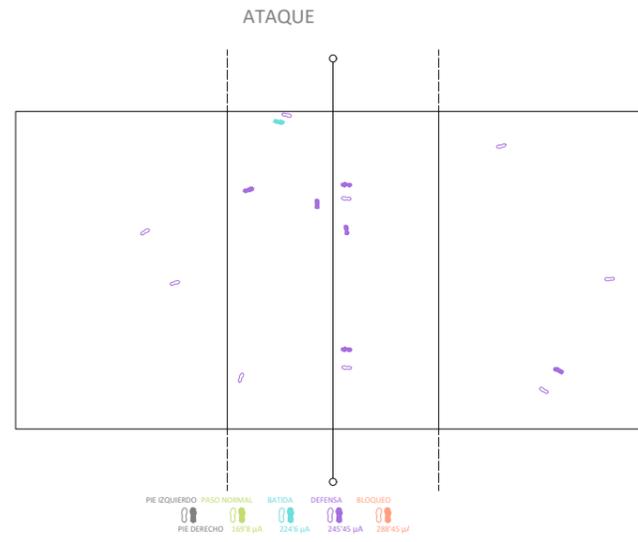
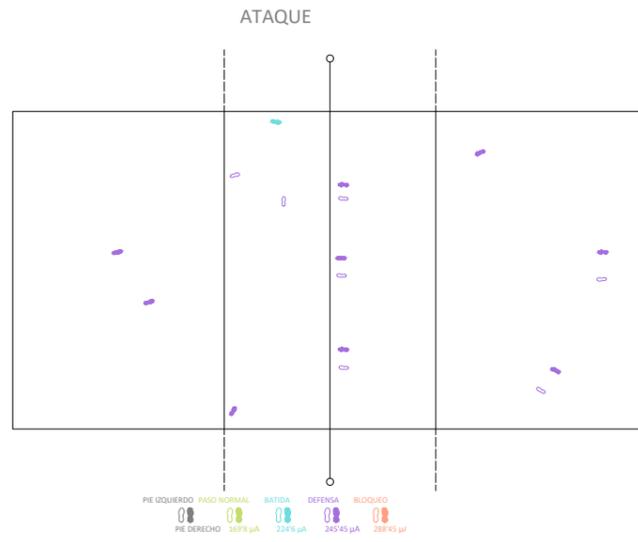
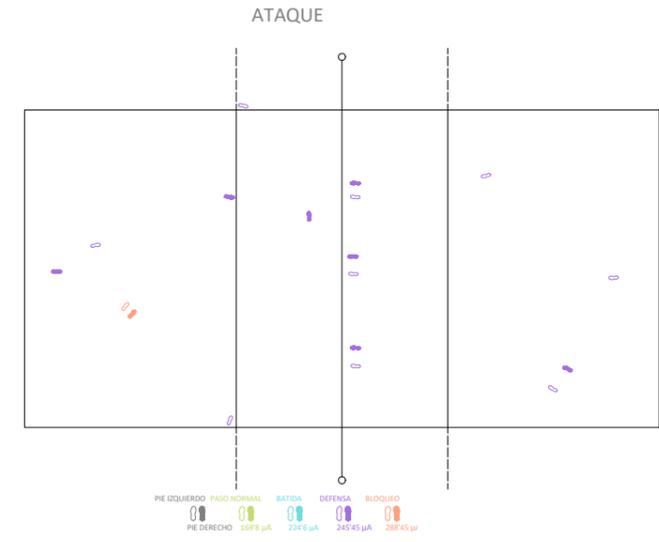
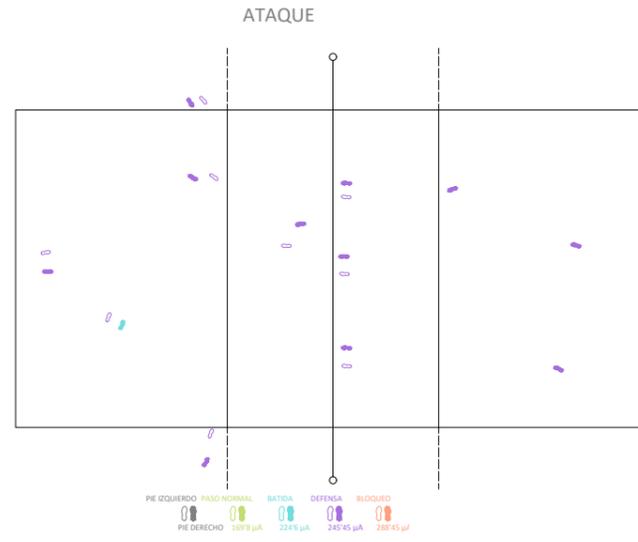
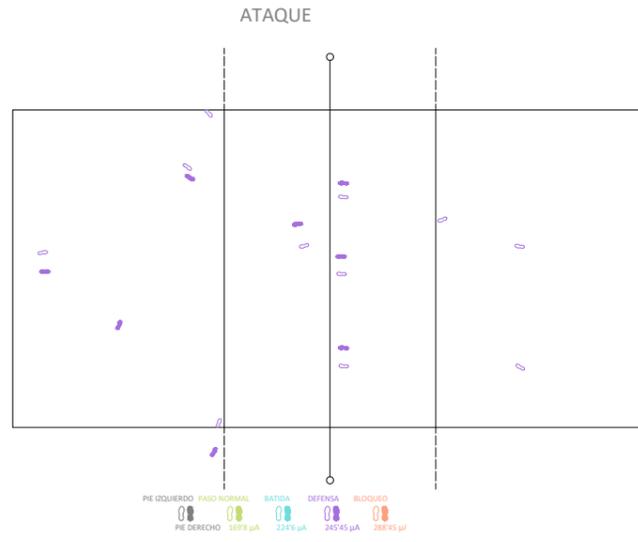
Atlas 5.
Despliegue de desplazamientos de la situación 3.

En esta sucesión de imágenes se desarrollan los desplazamientos realizados y calculados de la situación 3, en la que se muestran los movimientos ejecutados por los jugadores en un ejercicio cualquiera de entrenamiento. Además de una superposición de los mismos para determinar las zonas de la pista más frecuentadas y utilizadas para dicha situación, observando así las partes de la cancha propensas a desgastarse con mayor facilidad, implicando un mayor deterioro de los sensores ubicados en las mismas.

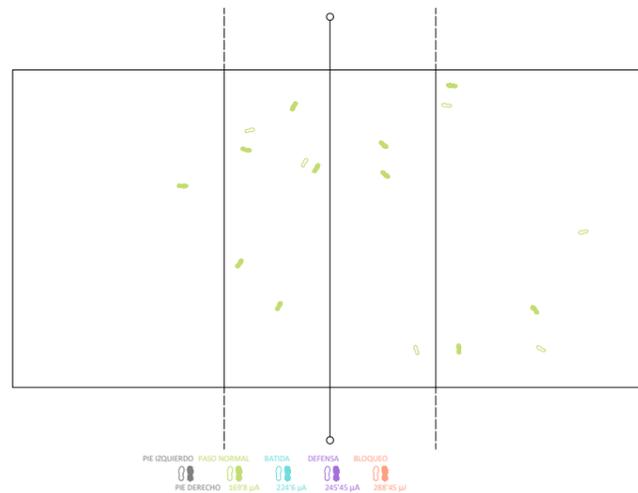




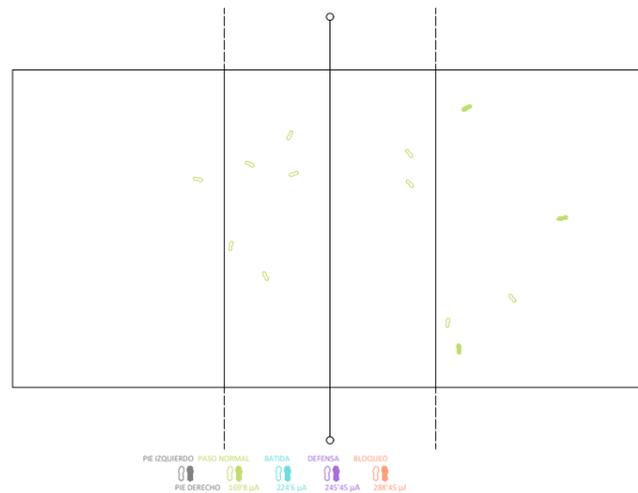




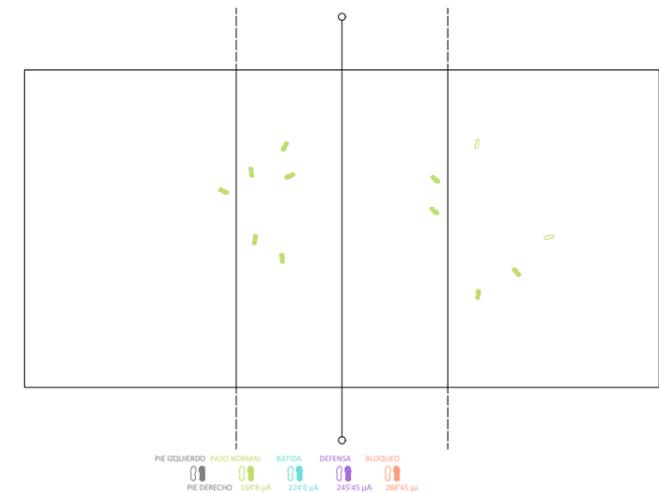
CELEBRACIÓN PUNTO



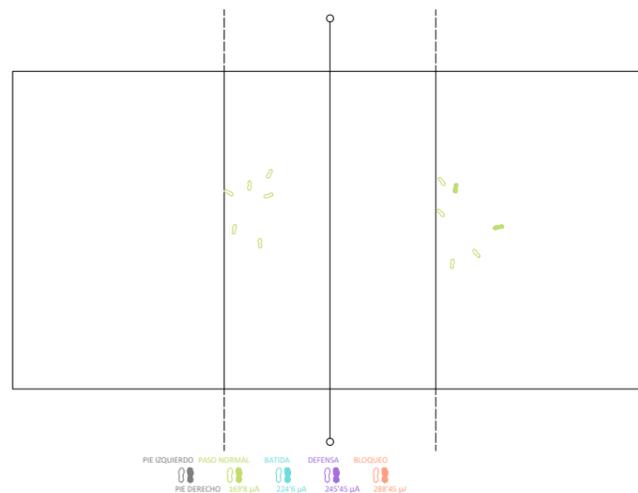
CELEBRACIÓN PUNTO



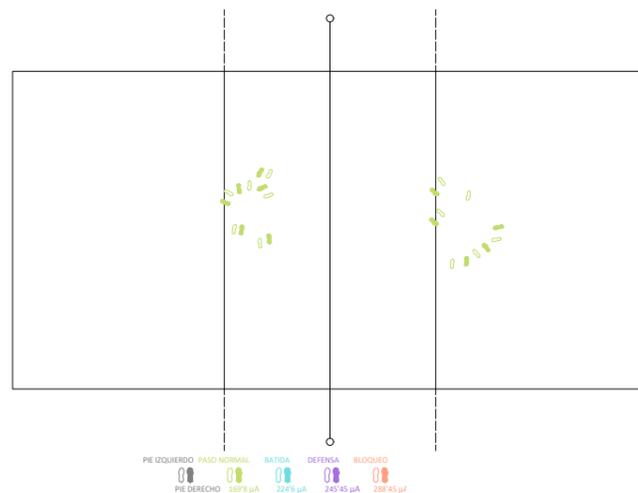
CELEBRACIÓN PUNTO



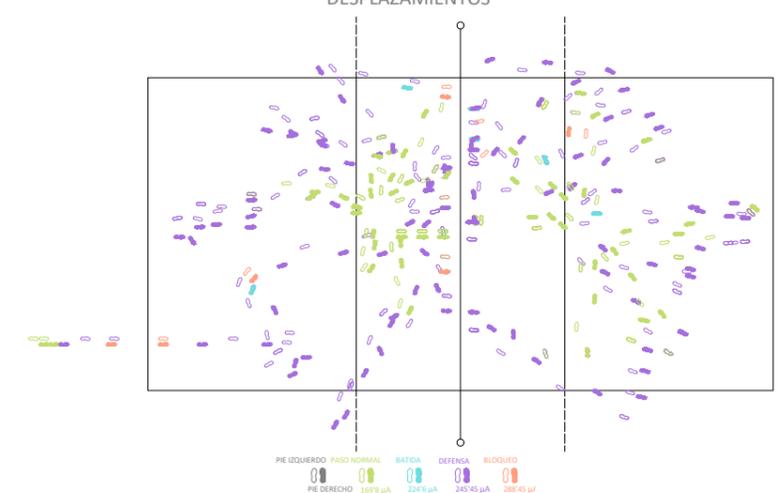
CELEBRACIÓN PUNTO



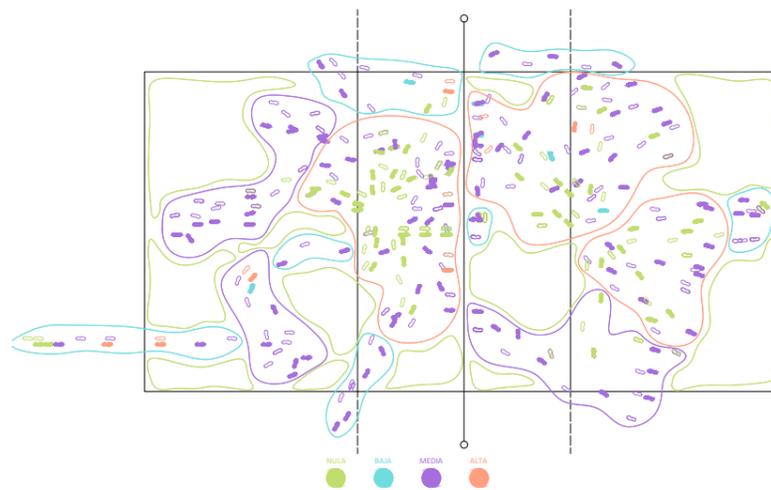
CELEBRACIÓN PUNTO



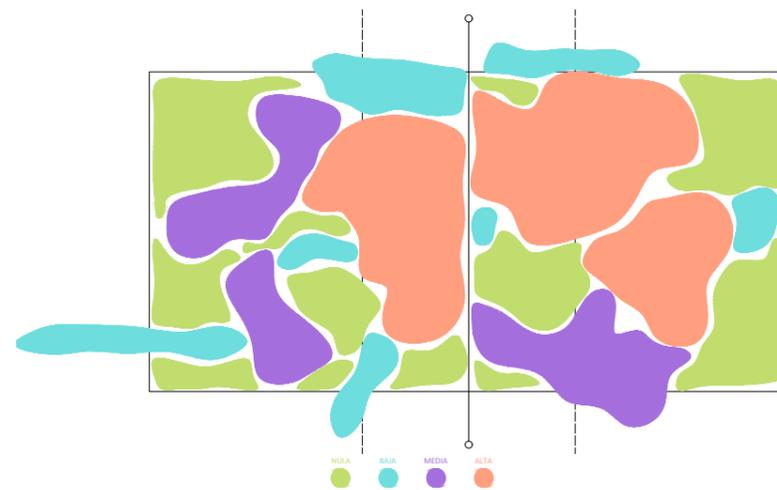
SUPERPOSICIÓN DESPLAZAMIENTOS



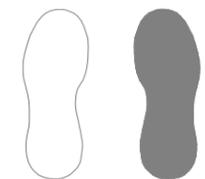
GRADO DE ACTIVIDAD



GRADO DE ACTIVIDAD



Para el análisis de los desplazamientos de esta tercera situación se ha optado por representar los movimientos de cada jugador a partir de sus huellas, dibujando así el recorrido completo que realiza cada uno y el tipo de paso que da, según la acción y la intensidad de la pisada, en la jugada de estudio.



Para el tamaño de las huellas se ha establecido una medidas estándar, igual a la huella dibujada a partir de su silueta, y al pie derecho la huella rellena, para los doce jugadores analizados, ambas con el color de la acción a la que hacen referencia.

Análisis de una jugada

Se han contabilizado los pasos realizados en una jugada simple cualquiera para obtener el valor total de amperios generados en la misma a través de los valores por acción desarrollados en el apartado anterior.

DATOS:

Pn, pasos normales; Pn = 107

Bt, batida; Bt = 10

Bq, bloqueo; Bq = 10

Df, defensa; Df = 262

RPn = resultado del paso normal; RPn = 169'8 μ A

RBt = resultado de la batida; RBt = 224'6 μ A

RBq = resultado de la bloqueo; RBq = 288'45 μ A

RDf = resultado de la defensa; RDf = 245'45 μ A

Aj = amperios totales generados en la jugada

V = voltios; V = 33'26 V

Wt = vatios totales

CÁLCULOS:

Multiplicaremos el amperaje de cada acción por el número de veces que se repite en la jugada, sumando posteriormente todos los valores para obtener el amperaje total.

$$Aj = (RPn \times Pn) + (RBt \times Bt) + (RBq \times Bq) + (RDf \times Df);$$

$$Aj = (169'8 \mu A \times 107) + (224'6 \mu A \times 10) + (288'45 \mu A \times 10) + (245'45 \mu A \times 262);$$

$$Aj = 87607 \mu A; Aj = 0'088 A$$

Obtenemos los vatios totales de la jugada utilizando el valor del voltaje obtenido en la prueba.

$$Wt = Aj \times V;$$

$$Wt = 0'088 A \times 33'26 V = 2'93 W;$$

$$Wt = 2'93 W$$

Este resultado corresponde a una única jugada, sin contar el bote del balón, que para este rally concretamente bota 10 veces en total. Si quisiéramos estimar cuántos vatios se generarían en un partido completo con este mismo valor tendríamos que tener en cuenta que, en el caso de un partido de 3 sets, se deben realizar como mínimo 75 jugadas, 25 por set, y el balón debe tocar el suelo como mínimo otras 25 veces, aunque en el caso del balón se contaría cuando toca el suelo al hacer el punto y los botes que se realizan antes de sacar, por tanto por jugada se estimaría que el balón toca el suelo 10 veces, 250 por set. Pero para simplificar nuestro cálculo únicamente tendremos en cuenta el valor de las pisadas de los doce jugadores en cancha. Por tanto:

Wp = vatios generados en un partido

$$Wp = Wt \times \text{número de jugadas};$$

$$Wp = 2'93 W \times 75 \text{ jugadas} = 219'75 W;$$

$$Wp = 219'75 W$$

Hay que tener en consideración, como se comentó anteriormente, que solamente se está cuantificando el valor de una única jugada, jugada sencilla y que posiblemente no se repita tantas veces en un partido, y menos de la misma manera y con la misma cantidad de pasos por acción, por lo tanto, este valor es totalmente orientativo. Además, intervienen muchos más factores que aumentarían el valor no sólo de la jugada sino del valor total del partido, pero que no se han incluido por su constante variación en el tiempo y dependencia total sobre la situación de cada momento del partido.

Cálculo iluminación y baterías

¿Cuánta potencia necesito?

En primer lugar se estimará la cantidad de vatios necesarios para poder iluminar nuestro pabellón, para ello será necesario conocer los siguientes datos:

1. Área del pabellón. El pabellón mide 28 metros de ancho x 46 metros de largo, por tanto su área es de 1288 m².
2. Nivel de iluminación requerido. Para recintos destinados a deporte de alto nivel y retransmisiones por televisión se precisan 1000 lux.
3. Lúmenes necesarios. Se calcularán a partir del área del pabellón y el nivel de iluminación requerido.

$$\begin{aligned} \text{Lúmenes necesarios} &= \text{Área pabellón} \times \text{Nivel de iluminación;} \\ \text{Lúmenes necesarios} &= 1288 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ lux} = 1288000 \text{ lúmenes;} \\ \text{Lúmenes necesarios} &= 1288000 \text{ lúmenes} \end{aligned}$$

4. Cálculo de los vatios necesarios:

$$\text{Vatios} = \text{Lúmenes necesarios} / \text{Eficiencia de las luminarias}$$

La eficiencia de las luminarias depende del tipo y el modelo escogido, en nuestro caso la eficiencia 145 lm/ W.

$$\begin{aligned} \text{Vatios} &= 1288000 \text{ lm} / 145 \text{ lm/W} = 8882'76 \text{ W;} \\ \text{Vatios necesarios} &= 8882'76 \text{ W} \end{aligned}$$

Para poder iluminar el pabellón tendremos que generar 8882'76 W.

¿Cuántas horas puedo mantener encendido el pabellón?

Una vez obtenidos los vatios necesarios calcularemos, a través de los datos y la cantidad de baterías, el número de horas que somos capaces de mantener encendidos los focos del pabellón, para ello hallaremos:

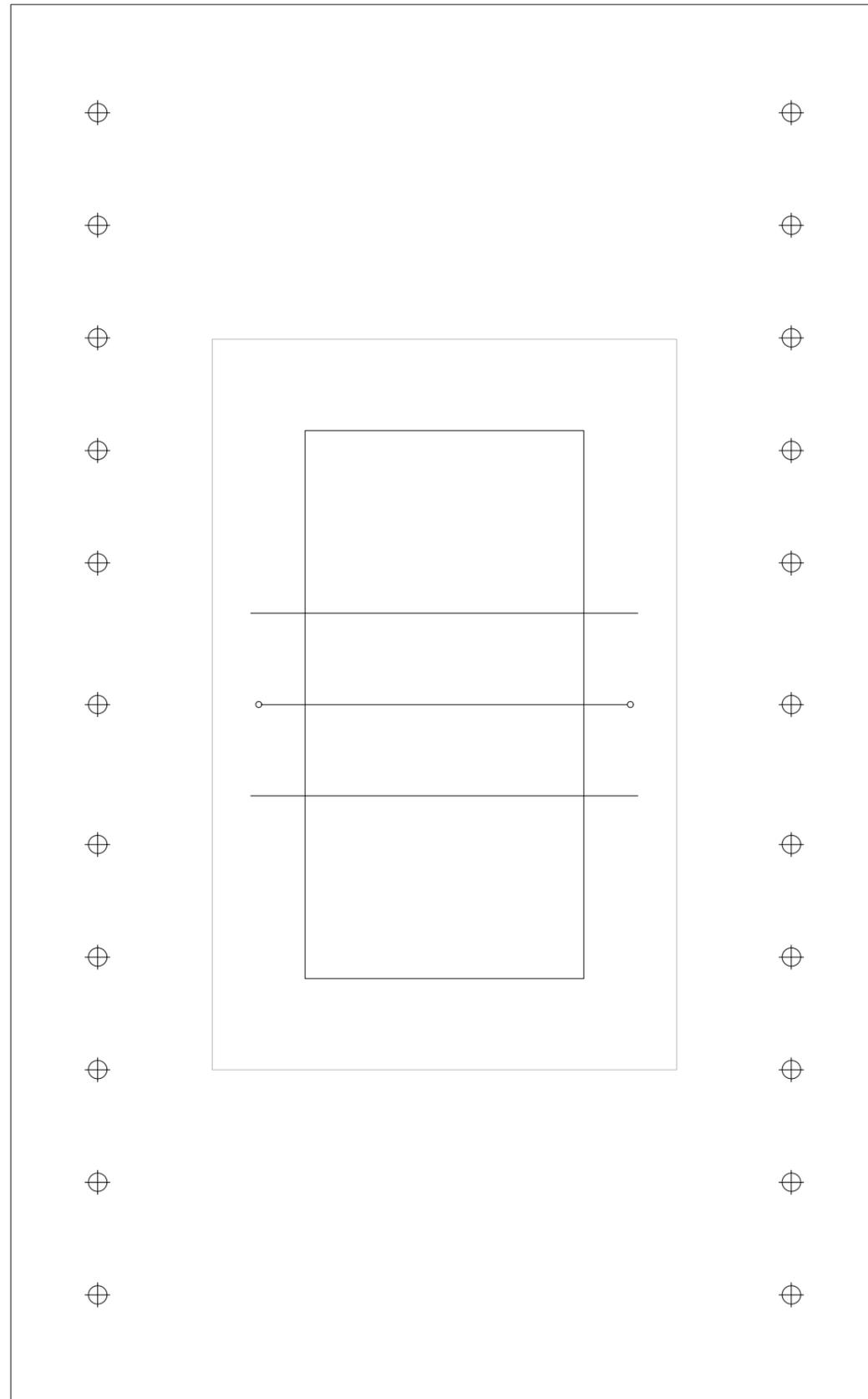
1. Capacidad de energía almacenada (kWh, kilovatios-hora). Escogemos una batería de 4'8 kWh. Para el cálculo estimaremos la colocación de 10 baterías, por tanto la capacidad de energía total será de 48 kWh.
2. Número de horas que se mantienen encendidos los focos, necesitaremos el valor de la capacidad de energía almacenada y la potencia requerida, que equivale a los vatios necesarios calculados anteriormente:

$$\begin{aligned} \text{Horas} &= \text{capacidad de energía almacenada (kWh)} / \text{potencia requerida (kW);} \\ \text{Horas} &= 48 \text{ kWh} / 8'9 \text{ kW} = 5'39 \text{ horas;} \\ \text{Horas totales} &= 5'39 \end{aligned}$$

En base a los vatios necesarios y a la instalación de 10 baterías de 4'8 kWh cada una seríamos capaces de mantener iluminado el pabellón 5'39 horas.

La disposición de las luminarias sobre la zona general de juego se establecerá en base al pabellón de referencia escogido, pabellón municipal Pablos Abril, ubicado en Taco, Santa Cruz de Tenerife. El pabellón cuenta con iluminación natural a través de ciertas zonas de la cubierta, por tanto no presenta tanta cantidad de focos como establece la norma ⁽¹⁰⁾, tomando de ejemplo el recinto establecemos dos filas de luminarias para zonas deportivas interiores a lo largo del espacio general de juego (Figuras 73, 74 y 75). Para el cálculo no es necesario conocer ni establecer la cantidad de focos que se han de colocar ni su disposición en el espacio, pero se ha querido reflejar de todas maneras (Figura 76).

⁽¹⁰⁾
Norma: UNE-EN 12193. Iluminación. Iluminación de instalaciones deportivas



Cálculo de horas de iluminación y número de pasos

Teniendo en cuenta los vatios necesarios calculados en el apartado anterior para poder iluminar el pabellón, Vatios necesarios = 8882'76 W, y la cantidad de horas que se es capaz de iluminar el área general de juego, Horas = 5'39, en base a los vatios y al tipo y número de baterías escogidas, se comprobará cada verificación para determinar la cantidad de horas y pasos que he de generar para mantener los focos encendidos el periodo mínimo de tiempo calculado anteriormente.

Situación 1

Valor mínimo-> $Wt = 0'1944 \text{ W}$ para una hora.

Según el valor mínimo establecido, para llegar al valor de los vatios necesarios, si dividimos 8882'76 W entre 0'1944 Wh, nos da un valor total de 45693 horas, lo que equivale a 32898960 pasos (multiplicamos los 12 pasos que se realizan en un minuto por 60 minutos, y el valor obtenido lo multiplicamos por el número de horas que acabamos de calcular). Para mantener encendidos los proyectores 5'39 horas tendré que entrenar 45693 horas.

Figuras 73, 74 y 75. Imágenes interiores del pabellón municipal Pablos Abril para visualizar la disposición de los focos.

Figura 76. Representación en planta de la ubicación de las luminarias.

Valor máximo-> $W_t = 172'8$ W para una hora.

Para el valor máximo establecido, si dividimos $8882'76$ W entre $172'8$ Wh, nos da un valor total de 52 horas, lo que equivale a 37440 pasos (multiplicamos los 12 pasos que se realizan en un minuto por 60 minutos, y el valor obtenido, 720 pasos, lo multiplicamos por el número de horas que acabamos de calcular).

Para mantener encendidos los proyectores 5'39 horas tendré que entrenar 52 horas.

Situación 2

Valor mínimo-> $W_t = 17'9$ W para 92 horas, equivale a una semana de entrenamiento.

Según el valor mínimo establecido, para llegar al valor de los vatios necesarios, si dividimos $8882'76$ W entre $17'9$ Wsemana, nos da un valor total de 497 horas, lo que equivale a 5'4 semanas de entrenamiento y a 32921280 pasos (multiplicamos los 12 pasos que se realizan en un minuto por 60 minutos, y el valor obtenido lo multiplicamos por el número de horas que acabamos de calcular).

Para mantener encendidos los proyectores 5'39 horas tendré que entrenar 497 horas, 5'4 semanas.

Valor máximo-> $W_t = 15897'6$ W para 92 horas, equivale a una semana de entrenamiento.

Con el valor máximo establecido para esta segunda verificación, si divido los vatios totales generados en una semana de entrenamiento entre los vatios necesarios, $15897'6$ W/ $8882'76$ W, obtengo un valor de 1'79 que multiplico por 5'39 horas y nos da que somos capaces de mantener encendidas las luces 9'65 horas, realizando 118570 pasos.

Para mantener encendidas las luces 9'65 horas tengo que mantener activada y en uso la instalación del pavimento 92 horas.

Situación 3

Valor partido-> $W_p = 219'75$ W, suponiendo que el partido dura 1 hora

En esta tercera y última verificación suponemos que el valor de los vatios por partido calculados anteriormente equivalen a una hora de partido, por tanto, al igual que en las demás verificaciones, dividimos los vatios necesarios por los vatios obtenidos, $8882'76$ W/ $219'75$ Wh = 40'42 horas, necesitaríamos realizar 40'42 horas de partido y 29102'4 pasos para mantener las luminarias 5'39 horas encendidas.

5

CONCLUSIONES

Para esta investigación, dentro del ámbito de la energía cinética, se ha optado por indagar sobre el potencial energético que poseen las personas al realizar deporte, constituyendo una fuente de energía inagotable y limpia capaz de contribuir de manera exponencial al medio ambiente sin consumir excesivos recursos. Como hemos podido comprobar, al igual que afirmaba Richar Long, el acto de andar o desplazarse es capaz de intervenir en el lugar. En nuestro caso concreto, los desplazamientos realizados por los jugadores en el ámbito deportivo-voleibol- intervienen de manera directa en la arquitectura en la que se desarrollan, produciendo un diálogo entre sujeto y construcción, entre el objeto nómada y el objeto sedentario, que genera una retroalimentación entre partes, ya que para poder jugar necesito luz y para tener luz tengo que jugar. (Careri, 2002).

En los ejemplos que hemos analizado y estudiado no existe ninguna intervención, salvo el caso del campo de fútbol de Brasil, en el que se realice una instalación completa de las baldosas o suelos cinéticos, y mucho menos para recintos deportivos. Ciertamente es que, como hemos confirmado a través de los cálculos realizados en las tres situaciones, este método generador de energía, a pesar de llevar casi dos décadas en investigación y desarrollo, aún precisa de mucha más investigación, ya que los beneficios tanto energéticos como económicos son aún muy bajos. De igual forma se considera que este tipo de instalación, a base de sensores piezoeléctricos instalados en pabellones deportivos, es capaz de alcanzar el fin para el que se construyó, encender los focos del

pabellón a partir de las pisadas de los jugadores.

A través de los cálculos se puede hacer una estimación de su efectividad pero no se asemeja a la realidad, ya que debido a la condición de los sensores y sus limitaciones, además del tipo de movimientos que estamos analizando, la energía que se genera no es constante, varía en base a muchos factores. Factores que se han limitado únicamente a pisadas y a un único valor para cada una, con el fin de desarrollar de manera sencilla las hipótesis y que sea no sólo fácil de analizar sino fácil de explicar y comprender. Afirmamos entonces que este es un tema y un cálculo mucho más complejo, por su factor dinámico y cambiante en el tiempo, de lo que se puede plasmar tanto en los cálculos como en los diagramas, ya que depende mayoritariamente de lo que suceda en cada momento.

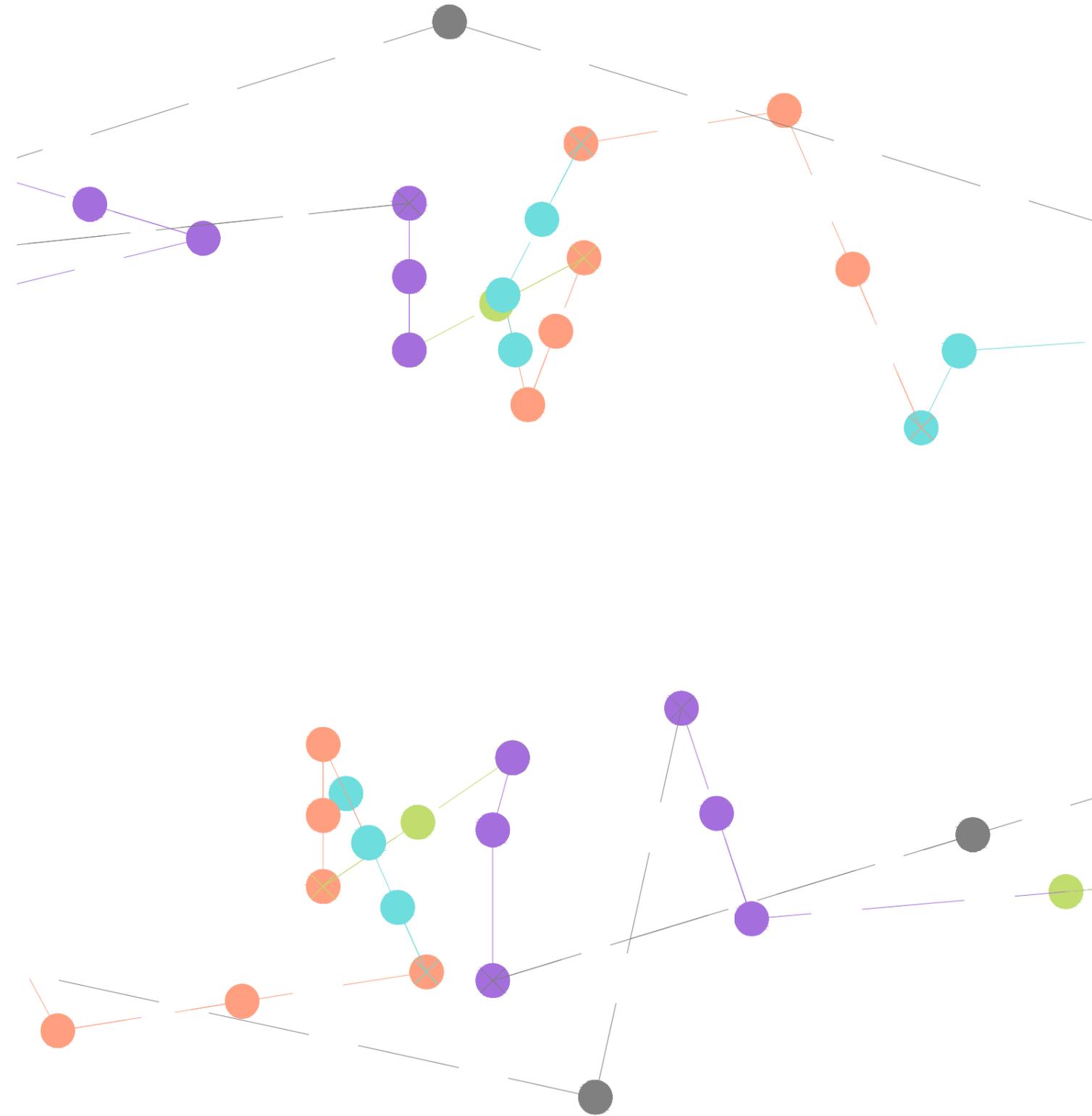
Este sistema podría integrarse no sólo en la zona de juego sino también en las gradas, los baños, y los accesos a dichas zonas. Además se podría llegar a combinar con otros tipos de energías renovables como la fotovoltaica o la eólica, pudiendo construirse pabellones autosuficientes utilizando, por ejemplo, placas solares, pavimento cinético y una solución de fachada que transforme la energía eólica en electricidad.

Con la conexión de la instalación eléctrica del pavimento a microprocesadores como Arduino seríamos capaces de conocer, a partir de softwares específicos, las áreas de la zona de juego más transitadas, la fuerza que ejerce cada jugador al pisar, o incluso detectar los sensores rotos o estropeados para su mantenimiento, y ya en el ámbito del deporte profesional, podrían programarse para utilizarse a modo de VAR, mostrando la zona exacta donde el balón entró en contacto con el suelo.

Hoy en día existe la necesidad de frenar la contaminación pudiendo conseguirlo a partir de la construcción de ciudades sostenibles, lo que implica no sólo avances tecnológicos sino también un cambio de mentalidad en las personas. Además de comprender que para realizar cambios no se pueden abarcar grandes ámbitos o superficies, es mucho más factible comenzar por pequeñas intervenciones y acciones, ya que si somos capaces de controlar y conocer el funcionamiento de estas instalaciones, seremos capaces de implementarlas a un nivel mucho mayor, a un nivel urbano o de ciudad, y obtener por tanto muchos más

beneficios. Por ello, para conseguir ciudades sostenibles y autosuficientes será necesario comenzar a desarrollar y controlar intervenciones a pequeña escala.

De esta forma, además de las nuevas tecnologías y el correcto desarrollo y uso de los métodos de generación de energía, y con la concienciación de la población, seríamos capaces de vivir, como decía Constant (1963), en las ciudades del futuro. Teniendo en consideración que las ciudades del futuro que se nos han mostrado hasta ahora en el cine y en la ciencia ficción no son realmente las ciudades que necesitamos, ni a las que nos estamos dirigiendo hoy en día. Esas ciudades idílicas donde el trabajo del humano es relevado por el de las máquinas no es tan factible ni liberador como se imaginaba. Decía Michel Foucault (1982), «Los hombres han soñado con máquinas liberadoras; sin embargo, por definición no existen las máquinas de libertad». Mediante la correcta utilización de las tecnologías y los grandes avances tecnológicos que se están realizando actualmente, además de la concepción del humano como generador de energía, entre otros factores, podríamos contrarrestar el daño que le hemos infringido al planeta, y por ende a nosotros mismos, consiguiendolo únicamente si logramos concebir la tecnología como una ayuda para la mejora más que como una forma de liberación.



BIBLIOGRAFÍA

(2024, 28 de mayo). Pisos Energéticos. <https://energy-floors.com/>

Aliaga, N., & Vanessa, F. (2021). Estudio de la viabilidad técnica de un sistema de captación de energía piezoeléctrica con aplicación en plantillas de calzado deportivo. *Ingeniería Industrial*, 40, 191-200. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5151>

Barrio, L. M. (s. f.). ¿Es viable producir energía al andar? . . CO, 1.

Breton, D. L. (2015). *Elogio del caminar*. Siruela.

Careri, F. (2002). Walkscapes: El andar como práctica estética = walking as an aesthetic practice.

Cebrián, P. O., Femenía, F. C., & Vila, R. P. (s. f.). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

Cerrato, V., Andrés, P., Manuel, J., Frutos, B., & de Alcalá, U. (s. f.). *Mecánica de ejecución del remate en voleibol*. . . ISSN.

(Dakota del Norte). Pavégen | Cada paso genera una conexión poderosa. <https://www.pavegen.com/>

Galeano, A. E. F. (s. f.). Estudio de sensores piezoeléctricos en aplicaciones de medición de fuerza.

García, J., & González, J. (s. f.). Cuarzo Piezoeléctrico, prototipo de Pierre Curie.

GINTZ, C. Richard Long, la vision, le paysage, le temps.

Ibáñez, J. G. (2012). E-STEP: Diseño de un prototipo para generación energética mediante tecnología piezoeléctrica. Aplicación a escaleras.

López, G.-. (s. f.). EL TIPO DE PLATAFORMA DE CONTACTO INFLUYE EN EL REGISTRO DE LA ALTURA DE SALTO VERTICAL ESTIMADA A PARTIR DEL TIEMPO DE VUELO. J. A.

Los pisos energéticos apoyan a Coldplay con pistas de baile cinéticas . (2024, 21 de mayo). Pisos Energéticos. <https://energy-floors.com/coldplay/>

Martínez Sánchez, M. J. (2015). *Cartografías dinámicas: Cuerpo y movimiento en el espacio arquitectónico* [PhD Thesis, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.40343>

Millás, J. J., & Arsuaga, J. L. (2020). *La vida contada por un sapiens a un neandertal*. ALFAGUARA.

Sierra, J. A. S. (2014). “No es simplemente la promenade architecturale”: Interpretaciones sobre Le Corbusier y Rogelio Salmons. *Dearquitectura*, 15, 116-129. <https://doi.org/10.18389/dearq15.2014.09>

Universidad de Lima, Perú, & Norabuena Aliaga, F. V. (2021). Estudio de la viabilidad técnica de un sistema de captación de energía piezoeléctrica con aplicación en plantillas de calzado deportivo. *Ingeniería Industrial*, 40, 191-200. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5151>

Figuras 1, 2 y 3. Despiece de los elementos que conforman el sistema de baldosas. Generador electromagnético, baldosa triangular de composite y personas.

Figura 4. (Esquina superior izquierda). Ejemplo de aplicación de una instalación pasiva.

Figura 5. (Central lado izquierdo). Ejemplo de aplicación de una instalación activa.

Figura 6. (Esquina inferior izquierda). Ejemplo de aplicación de una instalación activa.

Figura 7. (Esquina superior derecha). Sector: ciudades inteligentes. Intervención en el muelle de Hong Kong.

Figura 8. (Central lado derecho). Sector: experiencias y colaboraciones con marcas. Intervención en Trafalgar Square con la empresa Ford para el Ride London 2023.

Figura 9. (Esquina inferior derecha). Sector: centros de transporte. Intervención en una estación de transportes en Bedford, Inglaterra.
Fuente: <https://www.pavegen.com/>

Figura 10. (Izquierda). Esquema del funcionamiento de las baldosas.

Figuras 11 y 12. (Centro y derecha). Ejemplo de aplicación del pavimento *The Dancer* en el Festival de Coachella de Estados Unidos de la mano de la Casa Heineken.

Figura 13. (Izquierda). Ilustración de uno de los juegos instalados en *The Gamer*.

Figuras 14 y 15. (Centro y derecha). Ejemplo de aplicación del pavimento *The Gamer* en escuelas infantiles holandesas.

Figuras 16, 17 y 18. (Izquierda, centro y derecha). Ejemplo de aplicación del pavimento *The Walker* en la ciudad.

Figuras 19 y 20. Centro de energía diseñado y utilizado para los conciertos de la gira mundial Music Of The Spheres de Coldplay.
Fuente: <https://energy-floors.com/>

Figura 21. (Izquierda). Fotograma de la película *Big*.
Fuente: <https://goshop6.mom/products.aspx?cname=jugueteria+faoschwarz+cierra&cid=69>

Figura 22. (Centro). Escaleras piano de la estación de Estocolmo.

Fuente: <https://www.imagenradio.com.mx/escaleras-del-metro-polanco-en-un-piano-gigante>

Figura 23. (Derecha). Videojuego *Dance Dance Revolution*.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Dance-Dance-Revolution-left-AP-Photo-Robert-F-Bukaty-and-Nintendo-Wii-Fit-at-the_fig1_357183355

Figura 24. (Izquierda). Zapatillas infantiles con luces LED incorporadas.

Fuente: <https://www.joom.com/es/products/637748130fd81201628bd31b>

Figura 25. (Centro). Báscula de peso.

Fuente: <https://www.pcomponents.com/mejores-basculas-para-medir-la-grasa-corporal>

Figura 26. (Derecha). Operario colocando el cable cuantificador de vehículos en la carretera.

Fuente: <https://www.autonocion.com/tubos-cables-negros-carretera/>

Figura 27. Electrómetro diseñado por los hermanos Curie.

Fuente: <https://museovirtual.csic.es/csic75/laboratorios/lab1/lab1b.html>

Figura 28. (Izquierda). Cámara de ionización diseñada por Marie Curie en 1897.

Fuente: <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/French-School/427916/C%C3%A1mara-de-ionizaci%C3%B3n-ideada-por-Marie-Curie-%281867-1934%29-c.1897.html>

Figura 29. (Centro). Dibujo de las partes de un mechero.

Fuente: <https://depositphotos.com/es/photos/piezoel%C3%A9ctrico.html>

Figura 30. (Derecha). Piedra de cuarzo piezoeléctrico utilizado para los relojes.

Fuente: <https://www.xatakaciencia.com/fisica/por-que-un-trozo-de-cuarzo-es-capaz-de-mantener-los-relojes-en-hora>

Figuras 31 y 32. Sensor piezoeléctrico visto en planta y en alzado.

Fuente: elaboración propia

Figura 33.

Imágen del *Prosthetic Sensorium* en el agua.

Fuente: <https://janchristianschulz.com/Prosthetic-Sensorium>

Figura 34. (Izquierda)

Prototipo de una baldosa hecha con sensores piezoeléctricos.

Fuente: Ibáñez, J. G. (2012). E-STEP: Diseño de un prototipo para generación energética mediante tecnología piezoeléctrica. Aplicación a escaleras.

Figura 35. (Derecha)

Plantilla de zapatilla deportiva con sensores piezoeléctricos.

Fuente: Aliaga, N., & Vanessa, F. (2021). Estudio de la viabilidad técnica de un sistema de captación de energía piezoeléctrica con aplicación en plantillas de calzado deportivo

Figura 36. (Centro inferior)

Sensores de fuerza de la marca Kistler.

Fuente: <https://www.kistler.com/ES/es/>

Figura 37. Alfombra de salto Chronojump.

Fuente: <https://sportstraining.cz/chronojump/>

Figura 38. Alfombra de salto dmjump.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=-3Eva5x-GQfc>

Figura 39. Alfombra de salto Axonjump.

Fuente: <https://www.axonjump.com.ar/plataformas>

Figura 40. Plataforma de laboratorio para análisis de pisadas y saltos.

Figura 41. Alfombra para análisis de las pisadas.

Fuente: Apuntes Grado en Ciencias del Deporte.

Figura 42. (Superior). Colaboración de Pavegen con Adidas.

Figura 43. (Inferior). Intervención de Pavegen en una carrera.

Fuente: <https://www.pavegen.com/>

Figura 44. (Superior). Vista en planta de las baldosas deportivas

Figura 45. (Centro). Intervención en el acceso al parque olímpico de Londres.

Figura 46. (Inferior). Campo de fútbol en Morro da Mineira: Primera intervención de la empresa en el ámbito de la iluminación de recintos deportivos.

Fuente: <https://www.eluniverso.com/deportes/2014/12/04/nota/4302231/pasos-iluminan-cancha-futbol/>

Figura 47. Imágen de la rampa de la Villa Savoye de Le Corbusier, Francia, 1931. En referencia al *promenade architecturale* del arquitecto.

Fuente: <https://blog.thal.art/architectural-promenade-at-the-villa-savoye/>

Figura 48. (Izquierda). *A Line Made by Walking*, Inglaterra, 1967. Richard Long.

Fuente: <https://galiangarden.com/a-line-made-by-walking-de-richard-long/>

Figura 49. (Derecha). Recorrido a la inversa del Camino de Santiago, 1946. Hamish Fulton.

Fuente: <https://arsmagazine.com/hamish-fulton-el-arte-de-caminar/>

Figura 50. Vista en planta de la zona de juego general: representación de las cuatro canchas destinadas a la cantera.

Figura 51. (Superior). Vista en planta de la zona de juego general: representación de la cancha central destinada a la categoría de superliga.

Figura 52. (Inferior). Vista en planta de la cancha de juego: medidas y división de las zonas dentro del medio campo.

Fuente: elaboración propia

Figura 53. (Superior). Esquema de las partes del sensor piezoeléctrico y esquema de la flexión que sufre cuando se aplica una fuerza sobre él.

Fuente: <https://www.theremino.com/es/hardware/inputs/piezolectric-sensors>

Figura 54. (Centro izquierda). Zoom de la solución de pavimento Taraflex.

Fuente: <https://www.archiproducts.com/es/productos/gerflor/pavimento-deportivo-tara>

flex-sport-m-plus_19103

Figura 55. (Centro derecha). Solución de pavimento Taraflex instalada en cancha.

Fuente: https://www.archiproducts.com/es/productos/gerflor/pavimento-deportivo-tara-flex-sport-m-plus_19103

Figura 56. (Inferior). Tipos de soluciones de pavimentos para recintos deportivos de interior.

Fuente: <https://news.mondoiberica.com.es/guia-rapida-para-elegir-pavimento-deportivo-indoor/>

Figura 57. Axonométrica explotada de los distintos materiales que conforman el prototipo, y sus espesores.

Figura 58. Esquema de la instalación: conexión del prototipo al cuarto de instalaciones destinado al pavimento, conectado a su vez al cuadro eléctrico general del circuito de iluminación de la zona de juego.
Fuente: elaboración propia

Figura 59. (Izquierda). Notación del lenguaje Laban. Rudolf Laban. 1920.

Figuras 60 (Derecha) y 61 (Izquierda página contigua). La estereometría del espacio. Oskar Schlemmer. 1902.

Figura 62. (Superior). Coreología. Notación del movimiento de Benesh. Joan y Rudolf Benesh. 1940.

Fuente: <https://thecoreturn.com/las-partituras-del-movimiento/>

Figura 63. (Centro). *Dance Diagram "The Charleston"*. Andy Warhol. 1962.

Fuente: <https://www.warhol.org/the-art-of-dance/>

Figura 64. (Derecha). *Dance Diagram "The Lindy Tuck-in-Turn Man"*. Andy Warhol. 1962.

Fuente: <https://www.thebroad.org/art/andy-warhol/dance-diagram-3-lindy-tuck-turn-man>

Figura 65. (Izquierda superior). Acción de saque.

Figura 66. (Derecha superior). Acción de recepción.

Figura 67. (Izquierda inferior). Acción de ataque.

Figura 68. (Derecha inferior). Acción de defensa.

Figura 69. Representación en medio campo de las posiciones iniciales de los seis jugadores del mismo equipo a partir de círculos correspondientes al ancho de los hombros.

Figura 70. Representación en medio campo de las diferentes zonas que encontramos en la cancha, correspondiendo además a las posiciones iniciales de los jugadores.

Figura 71. Representación en medio campo de la posición inicial de cada jugador según su rol en desarrollo del juego. Co, colocador; Op, opuesto; Ct, central; L, libero; 4, atacante de 4 principal; 4', atacante de 4 secundario.

Figura 72. Representación en medio campo de la ubicación y la posición inicial de cada jugador en base a la rotación en la que se encuentren, dependiendo de la colocación del colocador en la cancha. R1, rotación con el colocador en zona 1, y así con cada rotación.

Atlas 1. Partes y proceso de la construcción del prototipo.

Atlas 2. El atlas 2 constituye los desplazamientos realizados por los jugadores del mismo equipo en medio campo para las cuatro acciones generales estipuladas anteriormente. Láminas verdes, acción de saque; láminas azules, acción de recepción; láminas naranjas, acción de ataque; láminas violetas, acción de defensa. Finalizadas las láminas de las acciones se muestra tanto la superposición de todos los desplazamientos realizados y dibujados, como la delimitación de zonas en base al grado de actividad de cada una debido a estos movimientos.

Atlas 3. Despliegue de desplazamientos de la situación 1.

Atlas 4. Despliegue de desplazamientos de la situación 2.

Atlas 5. Despliegue de desplazamientos de la situación 3.

Figuras 73, 74 y 75. Imágenes interiores del pabellón municipal Pablos Abril para visualizar la disposición de los focos.

Figura 76. Representación en planta de la ubicación de las luminarias.

Fuente: elaboración propia