

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
EVALUACIÓN DINÁMICA PARA EL APOYO DE LA TÉCNICA
DE RECEPCIÓN DEL VOLEIBOL BASADO EN UNA
CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE PLATAFORMAS DE FUERZA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Mecatrónica

AUTORA:

Yalhy del Rosario Melgarejo Chicchon

ASESORA:

Rocío Liliana Callupe Pérez

Lima, Junio, 2020

RESUMEN

Actualmente en el Perú, los técnicos profesionales junto con la selección peruana de voleibol femenino vienen realizando un trabajo arduo para conseguir un mejor posicionamiento en las competencias internacionales [1]. Además, el voleibol es un deporte colectivo de piso y regulado por la FIVB y según el técnico Mauro Marasciulo: “el movimiento de los pies es pieza clave en la ejecución de algunas técnicas como la de recepción” (Ver entrevista en Anexo A).

Así mismo, otros países vienen haciendo un trabajo análogo pero con la aplicación de la biomecánica deportiva y el uso de instrumentos tecnológicos, los cuales permiten obtener datos precisos e información que a simple vista no se pueden observar durante el desarrollo de las técnicas propias de algún deporte [1, 2, 3].

Con el afán de complementar esta disciplina del voleibol con la investigación, inclusión y desarrollo de la biomecánica deportiva la presente tesis diseña e implementa un sistema solución para la evaluación dinámica de los miembros inferiores, lo cual permita caracterizar biomecánicamente el movimiento el realizado por los pies de deportistas calificados durante la técnica de recepción básica baja del voleibol [4].

Este sistema cuenta con dos plataformas de fuerzas, las cuales son colocadas en una base portátil para poder trasportarlas a un ambiente donde se pueda realizar la evaluación de la técnica sin limitaciones. El diseño de la base portátil se realizó con un análisis previo del área de desplazamiento que una jugadora promedio de voleibol realiza durante el desarrollo de la técnica en mención para saber la distribución correcta de las plataformas.

La toma de datos fue realizada desde la posición anterior que se debe adquirir para el impacto con el balón hasta la posición posterior a esta. Y se obtuvo como resultado una curva característica durante esta fase crítica de la técnica de recepción, además de un patrón en el desplazamiento del centro de gravedad en el desarrollo de la técnica.

En todos los resultados de las evaluaciones realizadas se pudo observar que se realiza un pequeño impulso durante el corto acompañamiento que se realiza al impacto del balón en los antebrazos lo que es contrastado con la opinión especialista técnico (Ver ANEXO B:). Lo cual comprueba que la técnica es ejecutada de forma correcta, según lo mencionado por el técnico.



A mi madre por ser el pilar fundamental de todo lo que soy y toda mi educación, tanto académica, como personal. Así también, a mi abuela y a mi hermana por su incondicional apoyo y su constante motivación para culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi madre, a mi abuela y a mi hermana por su total apoyo durante mi etapa universitaria.

A mi asesora Rocío Callupe Pérez por su valiosa guía, paciencia y atenta disposición para la culminación del presente trabajo.

Además, al técnico César Arrese Ramírez y a la selección de vóley damas de la PUCP por su tiempo y toda su ayuda que me brindaron para la realización de este trabajo.

Finalmente, un agradecimiento especial a CIENCIACTIVA por apoyar en la realización de esta tesis a través del Círculo de Investigación denominado "Investigación y desarrollo de tecnologías de asistencia aplicadas a rehabilitación física y biomecánica deportiva" con Convenio de Financiamiento 206-2015 FONDECYT.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.	
	ÍNDICE DE CONTENIDO ii
	ÍNDICE DE TABLAS vi
	ÍNDICE DE FIGURAS vii
	LISTA DE ABREVIATURAS xii
	LISTA DE PLANOS xiii
	INTRODUCCIÓN 1
	CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO 2
1.1	Biomecánica deportiva del Voleibol 2
1.2	Análisis del movimiento en el Voleibol 3
1.2.1	Fases 3
1.2.2	Movimientos de los miembros superiores 5
1.2.3	Movimientos de los miembros inferiores y tronco 7
1.3	La recepción en el Voleibol 8
1.3.1	Técnica de recepción 8
1.3.2	Estilos 9
1.4	Fuerzas de reacción con el suelo en la técnica de recepción 10
1.5	Sistemas de adquisición de fuerzas de reacción con el suelo 10
1.5.1	Plataforma de fuerza 10
1.5.2	Plataformas de presiones plantares 11
1.5.3	Plantilla de medición de presiones 11
1.6	Técnicas de análisis para el área de trabajo de una voleibolista realizando la técnica de recepción 12
1.6.1	Observacional 12
1.6.2	Medición directa 13
1.6.3	Procesamiento digital de imágenes 13
	CAPÍTULO 2: ESTADO DE ARTE 15
2.1	Sistemas de análisis cinético: Plataformas de fuerzas 15
2.1.1	Sistema de sensado de las plataformas 15
2.1.2	Plataformas de fuerzas comerciales 16

2.2	Experiencias previas con plataformas.....	18
2.2.1	Mecánica de los miembros inferiores durante el aterrizaje después de un bloqueo de Voleibol como un factor de riesgo de lesión al ligamento cruzado anterior	18
2.2.2	Dinámica de los músculos extensores durante la técnica de ataque del Voleibol: La influencia de la tendinitis rotuliana.....	20
2.2.3	Técnica de bloqueo con salto estático: posición inicial de forma vertical vs posición inicial con sentadilla.....	21
2.2.4	Efecto de del uso de una ortesis de tobillo sobre la cinética y cinemática de la rodilla durante tareas específicas de voleibol.....	22
2.2.5	Fuerzas verticales de reacción con el suelo y Electromiograma (EMG) durante el aterrizaje en tobillos funcionalmente inestables.	24
CAPÍTULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DINÁMICA..		25
3.1	Requerimientos.....	25
3.1.1	Ambiente	25
3.1.2	Tecnologías	25
3.1.3	Base portátil de las plataformas	26
3.1.4	Interfaz de presentación.....	26
3.1.5	Sujeto de prueba	26
3.2	Estructura de funciones	26
3.3	Diagrama de funciones.....	27
3.4	Matriz morfológica.....	29
3.5	Conceptos de solución	32
3.5.1	Solución 1.....	32
3.5.2	Solución 2.....	33
3.5.3	Solución 3.....	35
3.6	Evaluación de conceptos	37
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE LAS PLATAFORMAS		40
4.1	Protocolo de pruebas para el análisis del área de trabajo de la técnica de recepción.....	40
4.1.1	Sujeto de prueba	40
4.1.2	Ambiente	40
4.1.3	Equipo	41
4.1.4	Gesto técnico	41

4.2	Determinación del área de trabajo de una voleibolista.....	42
4.2.1	Captura de datos videográficos.....	42
4.2.2	Procesamiento digital usando Kinovea.....	43
4.2.3	Cálculo estadístico de dimensiones.....	46
CAPÍTULO 5: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DINÁMICA.....		49
5.1	Presentación del sistema integrado.....	49
5.2	Sistema mecánico.....	49
5.2.1	Base.....	50
5.2.2	Tapa.....	50
5.2.3	Cajón.....	51
5.3	Sistema electrónico.....	52
5.3.1	Energización de plataformas.....	54
5.3.2	Aislamiento eléctrico.....	54
5.3.3	Calibración de plataformas.....	55
5.3.4	Adquisición de fuerzas.....	55
5.3.5	Amplificación y acondicionamiento de señal.....	55
5.4	Sistema de control y/o de procesamiento.....	56
5.4.1	Procesamiento de data cruda.....	56
5.4.2	Obtención de parámetros cinéticos.....	56
5.4.3	Presentación de parámetros al usuario.....	57
5.4.4	Diagramas de flujos.....	57
CAPÍTULO 6: PRUEBAS Y EVALUACIÓN.....		58
6.1	Protocolo de pruebas para la adquisición de fuerzas de reacción durante la técnica de recepción.....	58
6.1.1	Sujetos de prueba.....	58
6.1.2	Ambiente.....	58
6.1.3	Equipo.....	59
6.1.4	Procedimiento de la prueba.....	59
6.2	Evaluación dinámica de la técnica de recepción.....	60
6.2.1	Centro de Gravedad en 2D.....	60
6.2.2	Velocidad.....	63

6.2.3	Potencia	64
6.2.4	Impulso.....	64
CAPÍTULO 7: RESULTADOS		65
7.1	Análisis de datos recolectados	65
7.1.1	Repetitividad	65
7.1.2	Valores máximos de cada parámetro	70
7.2	Presentación de resultados en una interfaz	71
7.3	Costos del sistema del sistema de evaluación dinámica.....	71
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		74
BIBLIOGRAFÍA		75
ANEXOS		79



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Cuadro comparativo de Plataformas de fuerzas [25] [28] [29]	18
Tabla 2.2 Promedio de máximas fuerzas de reacción con el suelo y tiempos hasta la máxima fuerza de reacción con el suelo durante los ensayos con o sin ortesis [34].	23
Tabla 3.1 Matriz morfológica del dominio electrónico.....	30
Tabla 3.2 Matriz morfológica del dominio de control y/o procesamiento.	31
Tabla 3.3 Valor técnico de cada concepto solución [Norma VDI 2225]	37
Tabla 3.4 Valor económico de cada concepto solución [Norma VDI 2225]	38
Tabla 4.1 Datos obtenidos con cámaras más Kinovea	46
Tabla 4.2 Separación promedio entre las plataformas (n).....	48
Tabla 4.3 Desfase promedio entre las plataformas (p).....	48
Tabla 7.1 Valores promedios de los parámetros.....	70
Tabla 8.1 Costo del sistema de evaluación.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.	
Figura 1.1 Técnica de recepción - Juego de piernas de pasos laterales [4]	3
Figura 1.2: Fase 1 de la técnica de recepción [7].	4
Figura 1.3: Fase 2 de la técnica de recepción [7].	4
Figura 1.4: Fase 3 de la técnica de recepción [7].	5
Figura 1.5: Fase 4 de la técnica de recepción [7].	5
Figura 1.6 Movimientos del hombro durante la técnica de recepción [8].	6
Figura 1.7 Movimientos del antebrazo durante la técnica de recepción [8].	6
Figura 1.8 Aducción del hombro al contacto del balón [4].	7
Figura 1.9 Ángulos de tronco y rodilla antes del impacto del balón [9].	7
Figura 1.10 Movimientos presentes en los pies (a) Antes del impacto. (b) Durante el impacto [7].	8
Figura 1.11: Recepción de ataque. (a) Pase a una mano. (b) Pase de antebrazos. (c) Remate [4].	9
Figura 1.12: Recepción de Servicio. (a) Recepción de servicio baja. (b) Posición básica de Recepción de servicio. (c) Servicio [4].	9
Figura 1.13 Técnica de recepción básica baja [7].	10
Figura 1.14 Plataforma de fuerza o dinamométrica [12].	11
Figura 1.15 Plataforma de presiones plantares [15].	11
Figura 1.16 Plantilla de medición de presión [16].	12
Figura 1.17 Método observacional aplicado en el voleibol [17].	13
Figura 1.18 Método de medición directa [18].	13

Figura 1.19 Método de procesamiento digital de imágenes [4].	14
Figura 2.1 Sensor Hall [21].	15
Figura 2.2 Galga extensiométrica [22].	16
Figura 2.3 Plataforma de Fuerza Modular AMTI [20].	17
Figura 2.4 Placa de Fuerza Modular BERTEC [23].	17
Figura 2.5 Plataforma de Fuerza KISTLER [24].	18
Figura 2.6 Técnica de bloqueo - Gestos de aterrizaje [25].	19
Figura 2.7 Curvas medias de la fuerza de reacción vertical con el suelo (FRVS) durante los 100ms primero después del contacto inicial. (*) Indica una mayor F1 en el miembro derecho durante el aterrizaje con un paso atrás. (+) Indica una mayor F2 en el miembro derecho durante el aterrizaje con un paso atrás. (◇) Indica una mayor F2 total en el miembro izquierdo durante el aterrizaje fijo [25].	19
Figura 2.8 Desarrollo de la prueba para la captura de las fuerzas de reacción y velocidad vertical [27].	20
Figura 2.9 Curva de la fuerza de reacción vertical con el suelo delineando las fases de movimiento de la técnica de ataque. La fase extensora neta (FEP) comprende la combinación la Fase excéntrica (FE) y la Fase concéntrica (FC), la Fase transitoria inicial (FTI) y la fase de flexión terminal (FFT) [26].	21
Figura 2.10 Posiciones de partidas (a) Sin flexionar ambas rodillas. (b) Con una pequeña flexión en ambas rodillas (Sentadilla) [28].	22
Figura 2.11 Curva representativa de la fuerza de reacción vertical de un salto de bloqueo [28].	22
Figura 2.12 (a) Ortesis de tobillo. (b) Ambiente donde se desarrolló las pruebas [29].	23

Figura 2.13 Representación gráfica del promedio de la Fuerza de reacción con el suelo (FRS) vertical durante el aterrizaje para un grupo de control (GC) y un grupo de inestabilidad funcional (GIF) [30].	24
Figura 3.1 Caja negra del sistema.	27
Figura 3.2 Estructura de funciones para la evaluación de la técnica de Recepción.	28
Figura 3.3 Base del concepto solución 1	32
Figura 3.4 Tapa del concepto solución 1	32
Figura 3.5 Concepto solución 1	33
Figura 3.6 Softwares del concepto solución 1	33
Figura 3.7 Vista explosiva del concepto solución 2	34
Figura 3.8 Concepto solución 2	34
Figura 3.9 Softwares del concepto solución 2	35
Figura 3.10 Vista explosiva del concepto solución 3	35
Figura 3.11 Concepto solución 3	36
Figura 3.12 Softwares del concepto solución 3	36
Figura 3.13 Diagrama de evaluación [Norma VDI 2225]	39
Figura 4.1 Área de ejecución de la técnica de recepción.	41
Figura 4.2 Gesto técnico de recepción básica baja (simulado en OpenSim y dimensionado en Kinovea).	41
Figura 4.3 Área de trabajo de la técnica de recepción básica baja - Vista isométrica.	42
Figura 4.4 Cámara para el registro del plano sagital	43
Figura 4.5 Cámara para el registro del plano frontal	43
Figura 4.6 Posición en el Plano Sagital previa a la técnica de recepción.	44

Figura 4.7 Separación máxima entre los pies en el Plano Sagital durante la técnica de recepción.....	44
Figura 4.8 Posición en el Plano Frontal previa a la técnica de recepción.	45
Figura 4.9 Separación máxima entre los pies en el Plano Frontal durante la técnica de recepción.....	45
Figura 4.10 Esquema de configuración de las plataformas de fuerzas.....	46
Figura 4.11 Medidas del pie de las voleibolistas.....	47
Figura 4.12 Esquema para el cálculo de la separación entre ambas plataformas.	47
Figura 4.13 Esquema para el cálculo del desfase entre ambas plataformas.....	48
Figura 5.1 Diseño del sistema integrado.	49
Figura 5.2 Diseño de la Base.....	50
Figura 5.3 Diseño de la Tapa - Cara superior.....	51
Figura 5.4 Diseño de la Tapa – Cara inferior.	51
Figura 5.5 Diseño del Cajón – Cara superior.	52
Figura 5.6 Diseño del Cajón – Cara inferior.	52
Figura 5.7 Nervadura del cajón.	52
Figura 5.8 Diagrama de conexiones del sistema integrado	53
Figura 5.9 Puesta a tierra de las plataformas.....	54
Figura 5.10 Diagrama eléctrico del calibrador [38].	55
Figura 5.11 Diagrama eléctrico de la adquisición de fuerzas [38].	55
Figura 5.12 Softwares del sistema integrado.....	56
Figura 5.13 Diagrama del flujo para la evaluación dinámica.....	57
Figura 6.1 Área asignada para la ejecución de la técnica de recepción.....	58

Figura 6.2 Posición inicial de prueba	60
Figura 6.3 Ejecución de la técnica de recepción.	60
Figura 6.4 DCL de la voleibolista en las plataformas– Plano Frontal.....	61
Figura 6.5 DCL de la voleibolista en las plataformas con pierna dominante derecha– Plano Sagital.	62
Figura 6.6 Configuración de las plataformas para pierna dominante derecha.	62
Figura 6.7 DCL de la voleibolista en las plataformas con pierna dominante izquierda– Plano Sagital.	63
Figura 6.8 Configuración de las plataformas para pierna dominante izquierda.....	63
Figura 7.1 Fases de la técnica de recepción básica baja en el tiempo (a) Fase 1: posición inicial (b) Fase2: antes del impacto (c) Fase 3: Durante el impacto (d) Fase 4: después del impacto.	65
Figura 7.2 Fuerza de reacción pie derecho con el piso en el eje Z vs Tiempo	66
Figura 7.3 Fuerza de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.	66
Figura 7.4 Velocidad de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo.	67
Figura 7.5 Velocidad de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.....	67
Figura 7.6 Potencia de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo.	68
Figura 7.7 Potencia de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.	68
Figura 7.8 Impulso de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo	69
Figura 7.9 Impulso de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.	69
Figura 7.10 Desplazamiento del Centro de gravedad en el Tiempo en 2D.	70
Figura 7.11 Interfaz de evaluación dinámica – Ventana de inicio	71
Figura 7.12 Interfaz de evaluación - Ventana de resultados.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS

DCL	Diagrama de cuerpo libre
FIVB	Federación internacional de voleibol
X _G	Centro de gravedad en el eje x
Y _G	Centro de gravedad en el eje y



LISTA DE PLANOS

1. BASE PORTÁTIL
2. BASE
3. TAPA
4. CAJÓN
5. NERVADURA DEL CAJÓN



INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha, la selección peruana de voleibol ha participado en siete ediciones de los Juegos Olímpicos, obteniendo su mejor resultado en el año 1988 al ganar la medalla de plata. En los últimos años la competitividad a nivel mundial ha aumentado, esto se debe a que en algunos países la inclusión del concepto de biomecánica a las diferentes disciplinas deportivas y el uso de instrumentos tecnológicos ha traído consigo un aumento progresivo en el rendimiento atlético en sus deportistas calificados y de alto rendimiento.

En América del Norte y Europa, han incluido esta noción en su metodología de entrenamiento en la mayoría de las disciplinas deportivas tales como el voleibol, a través del uso de tecnología avanzada para el estudio, comprensión y optimización de diferentes técnicas deportivas. Así también, en América del Sur, se ha empezado a introducir este concepto como en Colombia, con la inauguración del Instituto de Investigaciones y Soluciones Biomecánicas en el año 2014 [5]. En Venezuela, se obtuvo grandes resultados gracias a la aplicación de la biomecánica llevando a sus deportistas a destacar en competencias internacionales de alta competencia [6, 7].

Considerando que el movimiento de los pies es de suma importancia para el éxito de la técnica de recepción básica baja, la tecnología más apropiada para capturar estos movimientos de los pies son las plataformas de fuerza. Por esta razón, en el presente estudio se evaluó de manera cuantitativa la técnica de recepción para luego caracterizarla biomecánicamente y obtener parámetros dinámicos (cinemáticos y cinéticos) propios del trabajo realizado por los pies, y así poder incrementar el nivel de juego de nuestra selección junto con el concepto de biomecánica deportiva.

La presente tesis diseña e implementa un sistema de evaluación dinámica como apoyo a la técnica en mención basado en una configuración óptima de las plataformas de fuerzas. Esta tesis está compuesta por siete capítulos: En el primer capítulo, se muestra el marco teórico donde se explican los conceptos básicos necesarios para la comprensión del estudio. El segundo capítulo es el recuento de todo el estado de arte como investigaciones pasadas y productos comerciales presente en el mercado. En el tercer capítulo, se presentan los conceptos solución que se plantearon al inicio del estudio y la evaluación de cada uno. Mientras que el cuarto capítulo, se detalla cómo se realizó el análisis previo del área de trabajo de la voleibolista para obtener la distribución óptima de las plataformas durante la toma de datos. El capítulo 5 muestra el concepto óptimo del sistema de evaluación dinámica, presentando sus tres subsistemas: mecánico, electrónico y, de control y/o procesamiento. El sexto capítulo detalla el procedimiento de las pruebas y de la evaluación dinámica. Finalmente, en el séptimo capítulo se presentan los resultados de la evaluación dinámica que se realizó en tres voleibolistas pertenecientes a la selección de voleibol de la PUCP.

CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO

Dado que en el presente trabajo se diseñará un sistema portátil de evaluación dinámica de los miembros inferiores durante la técnica de recepción del voleibol basado en una configuración óptima de plataformas de fuerzas para poder identificar parámetros que definan la correcta realización de la técnica, resulta fundamental aclarar algunos conceptos. A continuación, se describirán de forma breve estos conceptos básicos en los que se ha basado este estudio.

1.1 Biomecánica deportiva del Voleibol

La biomecánica es el área de la ciencia que está relacionada con el análisis del movimiento humano donde se examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen [8]. Estas fuerzas internas, la conforman principalmente por las fuerzas musculares y articulares, mientras que las fuerzas externas, la fuerza de gravedad y la fuerza de reacción del suelo [9].

El conocimiento de estas fuerzas es necesario para el perfeccionamiento de la técnica de movimiento, así también, para la determinación de las cargas excesivas durante las actividades físicas en los deportes de alto rendimiento o en actividades laborales cotidianas. Por este motivo, su presencia en el campo del deporte tiene como propósito obtener el desarrollo de una técnica deportiva eficaz haciendo uso de las leyes y principios mecánicos presentes en el cuerpo humano.

En un juego de voleibol se realizan entre 250 y 300 acciones motoras, las cuales se presentan en los saltos, carreras de velocidad de corta distancia y en los rescates del balón en donde las actividades predominantes son de potencia y fuerza. Estas actividades se dan de forma no cíclica, con o sin descanso en el juego, formando las diferentes técnicas que se lucen en el voleibol [10]. Específicamente, la técnica de recepción es una combinación de movimientos que involucra los miembros superiores e inferiores (Ver Figura 1.1) donde a pesar que la recepción del balón se realiza con los brazos, el trabajo ejercido por los pies es pieza clave para una construcción eficiente de la técnica.

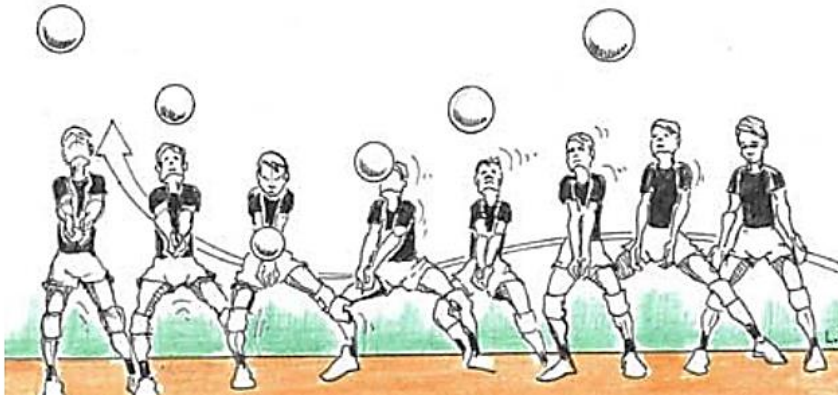


Figura 1.1 Técnica de recepción - Juego de piernas de pasos laterales [11]

Por esta razón en el presente trabajo se realiza un análisis biomecánico de los miembros inferiores durante la ejecución de la técnica de recepción de servicio para poder evaluar la dinámica presente en esta. Esto debido a que dicha técnica es el componente más importante en el esquema ofensivo en un juego de voleibol [12, 13].

1.2 Análisis del movimiento en el Voleibol

En el voleibol moderno, las habilidades técnicas elementales son los siguientes siete esquemas del juego fundamental: Posturas, posiciones y movimientos fundamentales, Juego de pases y pases en ataque, Servicio, Remate, Recepción y Bloqueo, las cuales cada jugador debe aprender durante su entrenamiento [11].

Dentro de estas técnicas individuales básicas, la recepción es considerada una de las técnicas más críticas en el juego como se había mencionado anteriormente. Esto se debe a que una buena recepción del balón luego de una técnica de servicio requiere de una respuesta inmediata para salvar el balón y poder dirigirlo a un blanco. Esto se logra mediante un movimiento sincronizado de los miembros superiores e inferiores del cuerpo siguiendo una secuencia de fases que se pueden distinguir en esta técnica.

1.2.1 Fases

Durante el desarrollo de la técnica de recepción se puede distinguir cuatro fases básicas, las cuales se describirán a continuación.

- **Fase 1: Posición básica**

Toda técnica de recepción empieza por una posición básica mientras se espera que el equipo contrario envíe el balón, esta posición se le denota como fase 1. En esta fase los pies y hombros se encuentran separados más o menos el mismo ancho, las rodillas dobladas, y las manos separadas.



Figura 1.2: Fase 1 de la técnica de recepción [14].

- **Fase 2: Antes del impacto del balón**

La fase 2 comprende el momento en que se forma una plataforma con ambos brazos para que el balón impacte justo en los antebrazos. Esta posición se forma al tomar una mano con la otra, juntando pulgares y muñecas donde los pulgares deben apuntar hacia el suelo.



Figura 1.3: Fase 2 de la técnica de recepción [14].

- **Fase 3: impacto del balón**

Al impacto del balón en los antebrazos se le ha dominado como la fase 3 de la recepción, en esta se debe mantener fuerte los brazos para recibir de manera correcta el balón. A partir de esta fase surgen los diferentes estilos de recepción mencionados anteriormente, esto se da por la forma con la que es absorbida la velocidad con la que viene la pelota.



Figura 1.4: Fase 3 de la técnica de recepción [14].

- **Fase 4: Después del impacto del balón**

Luego del impacto del balón en los antebrazos, el jugador tratará de reponerse ante el golpe recibido y buscará estabilidad para estar preparado ante la jugada que realiza su equipo. Si es que no participa en esta jugada, debe volver a la posición inicial básica y mantenerse alerta ante la respuesta del equipo contrario.



Figura 1.5: Fase 4 de la técnica de recepción [14].

1.2.2 Movimientos de los miembros superiores

Teniendo en cuenta que el tren superior del cuerpo es donde se realiza el contacto con la pelota, la ejecución de este gesto comprende los siguientes movimientos: Antes del impacto del balón, la aducción de los hombros (Ver Figura 1.6) permite que ambos brazos formen la plataforma donde la pelota hará contacto. Además, la flexión horizontal y vertical de los hombros (Ver Figura 1.6) junto a la extensión y supinación de los antebrazos (Ver Figura 1.7) complementa la formación de tal plataforma.

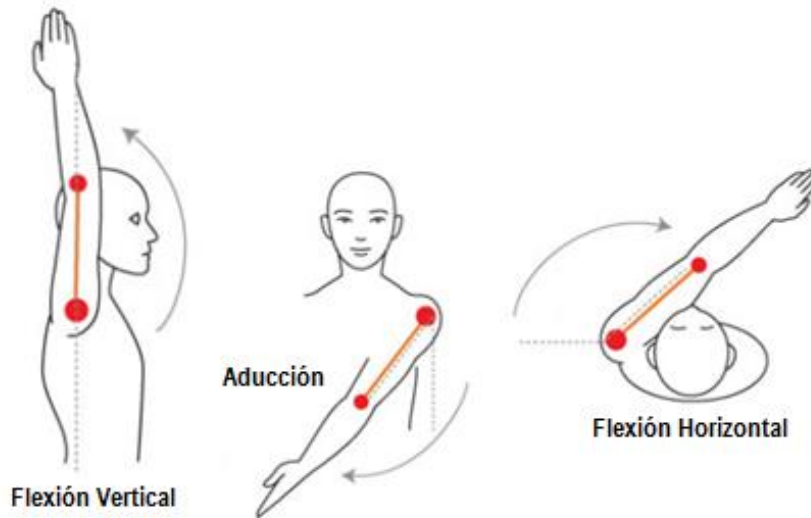


Figura 1.6 Movimientos del hombro durante la técnica de recepción [15].

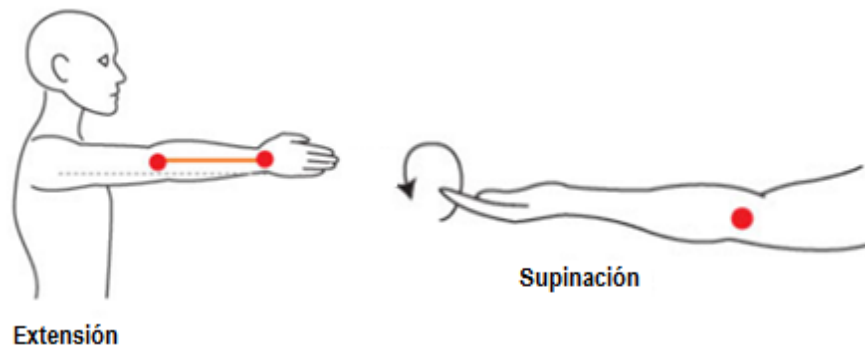


Figura 1.7 Movimientos del antebrazo durante la técnica de recepción [15].

Al contacto con el balón, la aducción de los hombros permite la rotación de esta plataforma direccionando la pelota hacia un objetivo (Ver Figura 1.8). Mientras tanto, antes y durante el contacto, ambas manos van juntas permitiendo una mejor aducción de los brazos para la recepción del balón.



Figura 1.8 Aducción del hombro al contacto del balón [11].

1.2.3 Movimientos de los miembros inferiores y tronco

El tronco y el tren inferior del cuerpo son los encargados de la translación y ubicación de la jugadora en función del vuelo y caída del balón. Esto involucra movimientos como: una inclinación hacia adelante en flexión de aprox. $95 - 100^\circ$ del tronco donde la cadera es responsable de este movimiento, esta debe estar dirigida hacia la jugadora que realizará el saque para redirigirlo hacia un blanco. Se cuenta con una flexión inicial de la rodilla aprox. 110° , ya que la recepción es un gesto de posición medio bajo, ambas rodillas deben de estar por delante del apoyo con los pies. Esto facilita la salida y posterior desplazamiento al contacto con el balón.



Figura 1.9 Ángulos de tronco y rodilla antes del impacto del balón [16].

Mientras que los pies deben estar en paralelo con una separación mayor al ancho de los hombros antes del impacto, además tienen que estar orientados hacia la pelota manteniendo el contacto con el suelo. Durante el contacto con el balón, la pequeña flexión presente en los pies proporciona una serie de patrones cinemáticos (Potencia, velocidad, impulso, etc.) necesario para el envío del balón hacia otra jugadora.

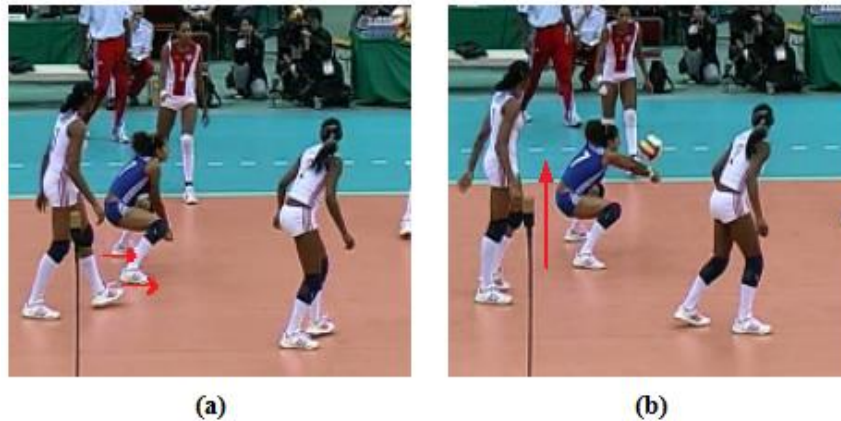


Figura 1.10 Movimientos presentes en los pies (a) Antes del impacto. (b) Durante el impacto [14].

Esta acción es de suma importancia, ya que una correcta recepción implica un pequeño acompañamiento de todo el cuerpo con la pelota. Por esta razón, el presente trabajo se centrará en el análisis de la dinámica de los pies para obtener estos parámetros cinemáticos y poder caracterizar la técnica. Así también, comprobar que existe tal acompañamiento de durante la ejecución de la técnica de recepción básica.

1.3 La recepción en el Voleibol

La recepción es aplicada para proteger la mitad de cancha del equipo y así también es usada en la construcción de jugadas para tratar de obtener un punto, si es que la jugada tiene éxito.

1.3.1 Técnica de recepción

La técnica de recepción se puede dividir en dos tipos: Recepción de ataque y Recepción de servicio donde ambas depende del tipo de técnica que han usado para enviar el balón, las cuales se describirán a continuación.

- **Recepción de Ataque**

Al momento que un jugador del equipo aplica la técnica de remate con éxito, el equipo oponente trata de recuperar el balón y una de las técnicas aplicadas es la de recepción de ataque, con esta se evita que la pelota toque el suelo y si es posible formar una jugada para el contra ataque. La idea clave de este tipo de técnica es absorber la velocidad del remate con la que viene el balón y permitir que este permanezca en la cancha [11, 13].

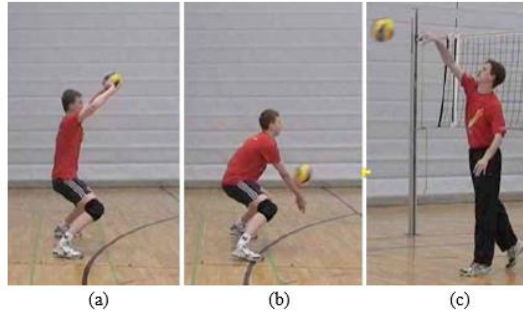


Figura 1.11: Recepción de ataque. (a) Pase a una mano. (b) Pase de antebrazos. (c) Remate [11].

- **Recepción de servicio**

Luego que uno de los equipos realice la técnica de servicio con éxito, el otro debe estar preparado para responder con otra técnica donde la técnica frecuentemente usada es la recepción de servicio. Esta tiene como objetivo de controlar el balón y dirigirlo hacia otro jugador de su propio equipo para formar una jugada que tenga como máximo 3 toques a la pelota. Este tipo de recepción es considerada la habilidad más importante en el voleibol, ya que al realizar un pase con los antebrazos, no solo tendrá que recibir el balón con éxito, sino también deberá dirigirlo a un lugar estratégico para formar una jugada a manera de ataque.



Figura 1.12: Recepción de Servicio. (a) Recepción de servicio baja. (b) Posición básica de Recepción de servicio. (c) Servicio [11].

1.3.2 Estilos

Por la forma y velocidad que es mandado el balón a la mitad de la cancha contraria, existen variantes o estilos que afectan de forma directa el envío del balón al otro jugador. Según la federación de voleibol [14], se pueden diferenciar nueve estilos al aplicar la técnica de recepción: alta, baja básica, baja, lateral, lateral alta, lateral baja, con extensión hacia delante, hacia atrás: tipo 1, hacia atrás: tipo 2, control de amortiguamiento por brazos y cuerpo. Donde la técnica de recepción baja básica es la más representativa entre todos los demás estilos, por este motivo el presente trabajo se centrará en el estudio de este estilo. Además, la complejidad de esta es menor que las otras, lo cual es beneficioso por la limitación de tiempo.



Figura 1.13 Técnica de recepción básica baja [14].

1.4 Fuerzas de reacción con el suelo en la técnica de recepción

Teniendo en cuenta que el caso de estudio hace referencia a la técnica de recepción del voleibol, la obtención de las fuerzas de reacción con el piso es de suma importancia según Mauro Marasciulo, ex director técnico de la selección peruana de voleibol (Ver ANEXO A).

Esto se debe a que durante el entrenamiento, el entrenador no puede observar si la jugadora realiza algunas acciones que son claves para el desarrollo de la técnica de recepción. Tales como distribución de peso o eliminación de sobreesfuerzos, estas son importantes para evitar lesiones de largo o corto plazo principalmente en los miembros inferiores de las jugadoras de voleibol.

Al conocer los valores de las fuerzas reacción se puede distinguir con claridad estas acciones claves para la técnica. Así mismo con estas fuerzas, es posible caracterizar la técnica de recepción, obteniendo algunos parámetros cinemáticos como velocidad, potencia, trabajo e impulso que se producen en los pies durante la técnica.

1.5 Sistemas de adquisición de fuerzas de reacción con el suelo

En la actualidad, para la obtención de estas fuerzas de reacción con el suelo existen algunos sistemas de adquisición como plataforma de fuerza, plataforma de presión plantar y plantillas de presión plantar. Estos sistemas se fundamentan en la tercera ley de Newton – “Principio de acción y reacción”, a continuación se describirán los sistemas resaltantes actualmente.

1.5.1 Plataforma de fuerza

Las plataformas de fuerzas o plataformas dinamométricas son sistemas que permiten medir las fuerzas que el pie ejerce en el plano de apoyo al realizar alguna acción dinámica sobre esta (Ver Figura 1.14). Toda fuerza aplicada en su superficie produce una señal eléctrica proporcional a esta, la cual se proyecta en los tres ejes del espacio (x, y, z). Esta plataforma cuenta con una estructura rígida donde el desplazamiento de su superficie plana es imperceptible por el usuario.

Para medir este mínimo desplazamiento las plataformas están equipadas por sensores que se encuentran conectados a un sistema electrónico de registro y amplificación. Esto permite

obtener la fuerza de reacción en tres ejes (F_x , F_y y F_z), así también determinar el punto de aplicación de dicha fuerza en cada instante del apoyo (Centro de presiones - COP) [17, 18].



Figura 1.14 Plataforma de fuerza o dinamométrica [19].

1.5.2 Plataformas de presiones plantares

Los sistemas de las plataformas de presiones plantares, a comparación de las plataformas de fuerzas, son construidos a partir de una disposición plana y rígida de elementos de detección de presión como sensores capacitivos, resistivos piezoeléctricos y piezorresistivos. Este sistema compuesto por diferentes capas donde una de ellas es una malla de sensores encargada de medir la presión ejercida sobre el dispositivo.

Gracias a la señal eléctrica suministrada por la malla de transductores, estas plataformas pueden obtener la distribución de fuerzas en la planta, el tipo de pie y la presión plantar (Ver Figura 1.15). Esta última se presenta a través de un patrón de color que aparece en diferentes tonos, tamaños y ubicación [20, 21].



Figura 1.15 Plataforma de presiones plantares [22].

1.5.3 Plantilla de medición de presiones

La plantilla de medición de presiones es una matriz de sensores flexibles que se puede incorporar en la zapatilla (Ver Figura 1.16) de tal modo que las mediciones realizadas por esta, reflejan las presiones ejercidas entre el pie y el zapato, y por ende las fuerzas de reacción en

esta. Este sistema portátil permite el estudio de tareas como marcha, diseño de calzado y terreno o alguna actividad dinámica, todo esto con la ayuda de una matriz de transductores de capacitancia.

La matriz está compuesta de tiras horizontales y verticales de láminas conductoras unidas a cada lado por un aislante dielástico donde cada punto de intersección de las filas y columnas hay un sensor de capacitancia. Este sistema mide la magnitud y los parámetros temporales de la presión aplicada en estos sensores mientras se realiza alguna actividad puesto las plantillas en las zapatillas [21, 18].



Figura 1.16 Plantilla de medición de presión [23].

1.6 Técnicas de análisis para el área de trabajo de una voleibolista realizando la técnica de recepción

Para evaluar de forma correcta la técnica de recepción con la ayuda de un sistema de adquisición de fuerzas de reacción con el suelo, se requiere analizar primero el área en la que una voleibolista utiliza para realizar esta técnica. Al tener este desplazamiento promedio (separación y desfase entre ambos pies) se podrá obtener una configuración o distribución óptima del sistema. Para poder analizar el área existen tres técnicas resaltantes: observacional, medición métrica y procesamiento de imágenes.

1.6.1 Observacional

Este método utiliza la vista como instrumento de análisis, el cual consiste simplemente en observar varias veces como se realiza de forma correcta la técnica de recepción para luego, sacar un promedio de las medidas que debe tener el área de trabajo. Esta es la más utilizada por los entrenadores, ya que por la experiencia adquirida con el tiempo, saben cómo y cuánto deben estar separados los pies durante la ejecución de dicha técnica.



Figura 1.17 Método observacional aplicado en el voleibol [24].

1.6.2 Medición directa

El método de medición directa hace uso de un instrumento de medida para obtener la separación y desfase que hay entre los pies en cada fase que comprende la técnica de recepción. Este método ha sido usado con frecuencia por muchos investigadores para el análisis del área de trabajo o de la misma técnica que estudian, ya que es más preciso que el método anterior.

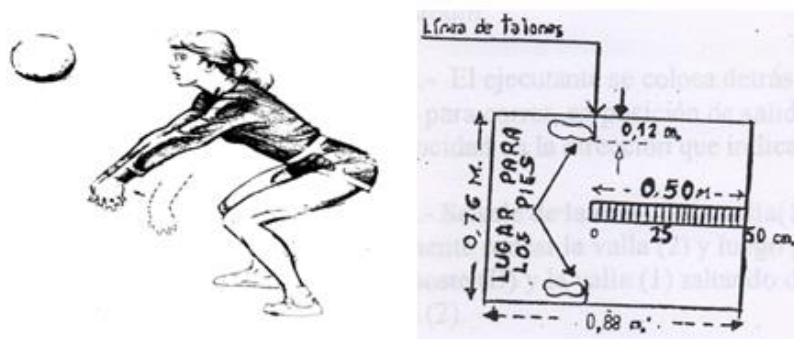


Figura 1.18 Método de medición directa [25].

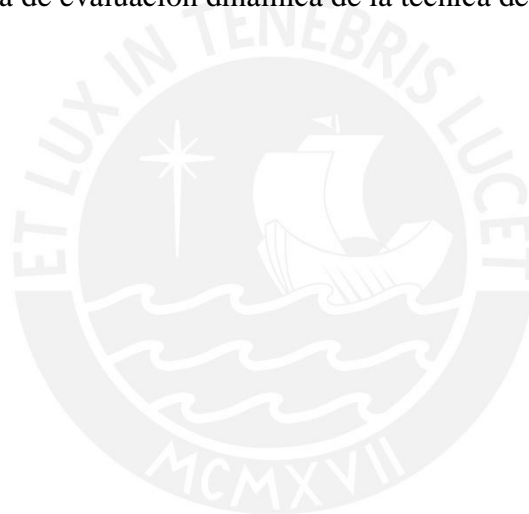
1.6.3 Procesamiento digital de imágenes

Para este método se emplea softwares como instrumentos de medición donde sea posible escalar magnitudes y poder calcular la distancia entre los pies. Pero se requiere de un paso previo, es necesario digitalizar la técnica de recepción en una imagen o video para luego, ingresarlo al software y obtener las medidas que se necesitan.



Figura 1.19 Método de procesamiento digital de imágenes [11].

Este tiene igual o mayor precisión que el anterior, esto depende del software a usar. Debido a su precisión, este método será utilizado para el análisis previo del área de trabajo que se requiere para el diseño del sistema de evaluación dinámica de la técnica de recepción.



CAPÍTULO 2: ESTADO DE ARTE

Considerando que es indispensable primero hacer una revisión del estado de arte actual. En el presente capítulo se hace un recuento de las tecnologías actuales que permitan medir las fuerzas que el pie ejerce en el suelo y de las investigaciones publicadas donde hacen uso de estas.

2.1 Sistemas de análisis cinético: Plataformas de fuerzas

La dinámica presente en los pies puede ser registrada actualmente haciendo uso de una gran gama de tecnologías. Esto se debe a que dichas plataformas tienen la capacidad de registrar las fuerzas de reacción producidas en el suelo en tres ejes (F_x , F_y y F_z), los momentos de dichas fuerzas (M_x , M_y y M_z) y el centro de presiones. Además, se sabe que la tecnología más apropiada para la adquisición de estas fuerzas de reacción son las plataformas dinamométricas [26].

2.1.1 Sistema de sensado de las plataformas

En cuanto a sistemas de sensado, las plataformas pueden emplear dos métodos para poder adquirir las fuerzas y momentos. Uno de estos métodos aprovecha el efecto Hall mientras que el otro, hace uso de galgas extensiométricas para el sensado de estas fuerzas de reacción y momentos.

Efecto Hall

Estas plataformas son ligeras y portables, ya que funcionan con sistemas independientes de acondicionadores de señal. Su diseño utiliza sensores de efecto Hall para medir las componentes de fuerzas, estos sensores están distribuidos en el interior del transductor de fuerza. Los sensores miden los cambios de campo magnético que se producen cuando los resortes integrados se deforman por las fuerzas y momentos aplicados en la superficie. Al tener el acondicionador de señal en el interior, el sistema no se ve limitado por la longitud de los cables pero una desventaja del diseño es la baja velocidad de muestreo [27].

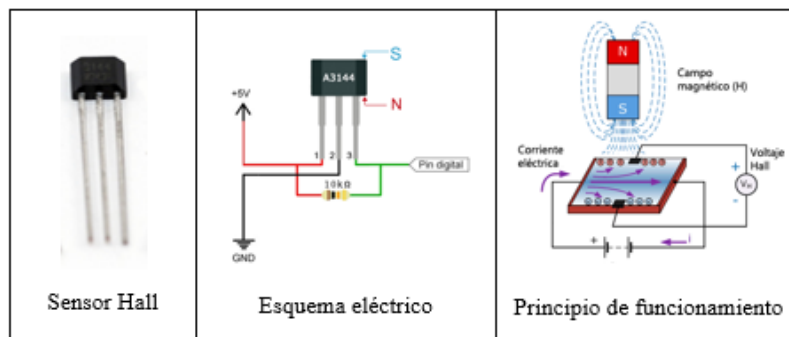


Figura 2.1 Sensor Hall [28]

Galgas extensiométricas

Los productos que utilizan este sensor de deformación proporcionan una medición de fuerzas más precisas. La superficie de esta plataforma está apoyada en elementos de detección de forma cilíndrica con pared delgada. Cada elemento está equipado con medidores de deformación, que son excitados por una constante seleccionable por el usuario, suministrada por el acondicionador de señal. Cuando se aplica una carga de fuerza en la superficie de esta plataforma, las galgas que se encuentran en los cilindros de apoyos se deforman, con esto el valor de la resistencia eléctrica cambia. Esto produce un cambio de tensión de salida que es proporcional a la fuerza aplicada [27].

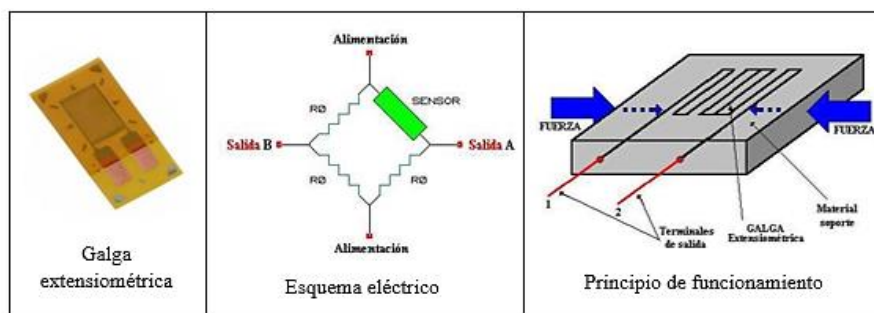


Figura 2.2 Galga extensiométrica [29]

2.1.2 Plataformas de fuerzas comerciales

En el mercado actual existen numerosos productos de tipo plataformas dinamométricas dentro de las cuales se ha encontrado tres marcas más usadas en diversos laboratorios de biomecánica reconocidos como AMTI, BERTEC y KISTLER. A continuación, se describirán las marcas de plataformas de fuerzas mencionadas anteriormente.

Plataforma de Fuerza Modular AMTI

Las placas de fuerzas AMTI (Ver Figura 2.3) se utilizan frecuentemente en investigaciones y estudio clínicos observando los resultados de las pruebas de balance, de marcha y de rendimiento deportivo que se pueden realizar con estas plataformas. Esto se debe a que está diseñada para medir las fuerzas y momentos aplicados a su superficie superior cuando un sujeto se encuentra parado, da pasos o salta sobre ella.

Estas fuerzas y momentos se miden con un sistema de sensado basado en galgas extensiométricas que se accionan cuando los pies entran en contacto con la plataforma donde tres fuerzas (F_x , F_y y F_z) actúan a lo largo de los ejes ortogonales x , y , z del sistema de coordenadas, y tres componentes de momento se encuentran rotando alrededor de los correspondientes ejes. La plataforma de fuerza se conecta a la computadora a través de un sistema electrónico de amplificación, el cual transforma la señal analógica a digital y la amplifica para luego ser procesada y presentada en gráficos y datos estadísticos con dos softwares especializados propios de la marca [27].



Figura 2.3 Plataforma de Fuerza Modular AMTI [27]

Placa de Fuerza BERTEC

Estas placas o plataformas han sido creadas específicamente para el análisis de la marcha, del equilibrio, y del rendimiento ergonómico y deportivo. Además, contienen un conjunto de transductores de carga con galgas extensiométricas. Cada plataforma (Ver Figura 2.4) lleva incorporada un amplificador digital de ganancia y una unidad de control de la señal. La salida de la señal digital se conecta directamente a través de un puerto USB a la PC.

Además, tiene un software de adquisición digital que le permite al usuario recopilar los datos de una manera rápida. Estas placas de fuerza miden simultáneamente tres componentes de fuerzas a lo largo de los ejes X, Y, y Z y tres componentes de momento de dichas fuerzas [30].



Figura 2.4 Placa de Fuerza Modular BERTEC [30]

Plataforma de Fuerza KISTLER

Con estas plataformas de fuerza (Ver Figura 2.5) se puede realizar el análisis de la marcha, del rendimiento ergonómico y deportivo, y rehabilitación. Utiliza una tecnología de medición piezoeléctrica con lo que asegura el registro de las fuerzas y movimientos con precisión. Tiene un sistema de adquisición de data donde la señal es amplificada y transformada a otra señal que sea reconocible por la computadora.

Este dispositivo cuenta con un software determinado por la misma marca para presentar los datos obtenidos por las plataformas durante la prueba. Al igual que las otras plataformas, las fuerzas son medidas a los largo de los eje X, Y, y Z y sus momentos de fuerzas giran alrededor de los ejes ya mencionados [31].



Figura 2.5 Plataforma de Fuerza KISTLER [31]

Tabla 2.1 Cuadro comparativo de Plataformas de fuerzas [27] [30] [31]

	Tecnología de medición	Diafonía	Precisión de medición	Fuerza máxima (Fz)
Plataforma de Fuerza Modular AMTI	Galgas extensiométricas	± 0.05 %	$\pm 0,1$ %	4 kN
Placa de Fuerza BERTEC	Galgas extensiométricas	± 0.09 %	$\pm 0,2$ %	5 kN
Plataforma de Fuerza KISTLER	Piezoeléctrica	± 2 %	± 1 %	10 kN

2.2 Experiencias previas con plataformas

Teniendo en cuenta que el registro de las fuerzas de reacción durante la ejecución de la técnica de recepción es de suma importancia, se ha realizado un resumen de algunas investigaciones pasadas donde se ha encontrado información de gran aporte para el presente trabajo. Para esto se ha dado un enfoque especial en las tecnologías usadas, y protocolos y métodos empleados para la manipulación de la data obtenida por las pruebas realizadas en estas investigaciones.

2.2.1 Mecánica de los miembros inferiores durante el aterrizaje después de un bloqueo de Voleibol como un factor de riesgo de lesión al ligamento cruzado anterior

El objetivo de este artículo es comparar el mecanismo de las extremidades inferiores y la energía absorbida luego del aterrizaje al ejecutar la técnica de bloqueo del voleibol ya sea exitosa o no; además, examinar la posibilidad de riesgo de lesión en el ligamento cruzado anterior presente en la rodilla. Para ello se realizaron pruebas en jugadores de alto rendimiento de voleibol que usaron la pierna derecha al dar un paso hacia atrás y los que no contaran con ninguna cirugía previa a la rodilla, cadera o tobillo.

En la ejecución de las pruebas, se utilizó dos plataformas de fuerzas para determinar la fuerza de reacción con el piso y al mismo tiempo, un sistema de captura de movimiento comprendido

por 8 cámaras infrarrojas para la recolección de la cinemática del movimiento. La prueba consistió en realizar un salto en las plataformas de fuerzas (Ver Figura 2.6), habiendo colocado previamente marcadores en el cuerpo del jugador en puntos específicos para que puedan ser percibidos por las cámaras infrarrojas.

Para obtener un salto normalizado en cada prueba, se suspendió una pelota de voleibol a una altura constante y a una longitud por detrás de la red al lado opuesto de la cancha. Finalmente, se procesó los datos obtenidos con software especializado de ambas tecnologías y se obtuvo resultados como el ángulo de rodilla, puntos máximos de la fuerza vertical de reacción con el suelo, los momentos de fuerza presentes en la rodilla y la energía absorbida por el cuerpo durante la ejecución de la técnica de bloqueo [32].

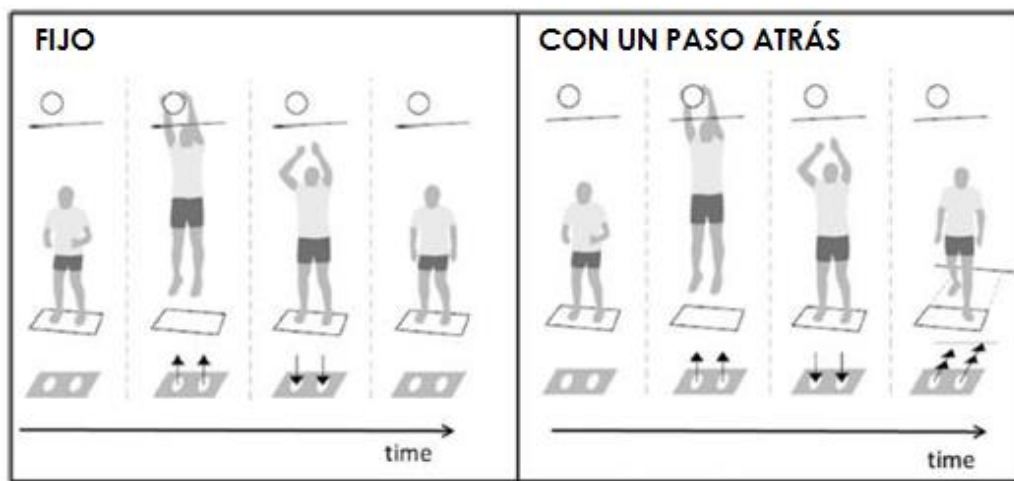


Figura 2.6 Técnica de bloqueo - Gestos de aterrizaje [32].

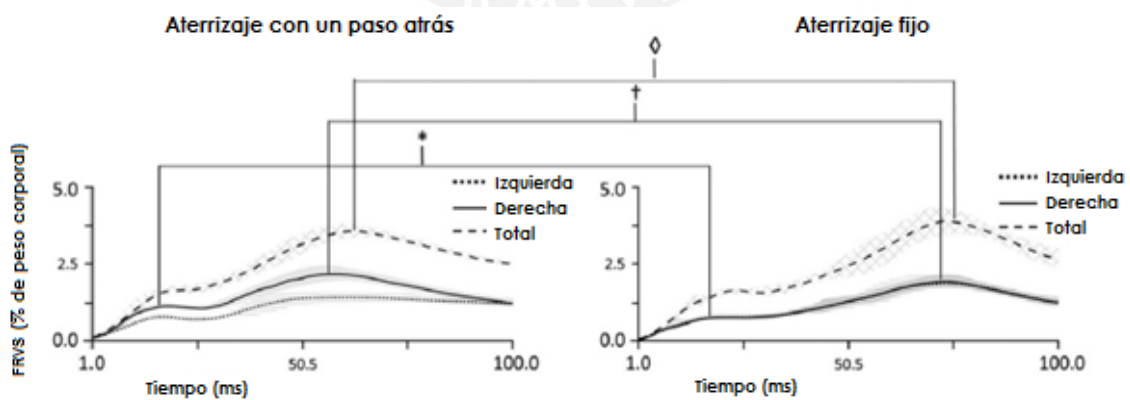


Figura 2.7 Curvas medias de la fuerza de reacción vertical con el suelo (FRVS) durante los 100ms primero después del contacto inicial. (*) Indica una mayor F1 en el miembro derecho durante el aterrizaje con un paso atrás. (+) Indica una mayor F2 en el miembro derecho durante el aterrizaje con un paso atrás. (◇) Indica una mayor F2 total en el miembro izquierdo durante el aterrizaje fijo [32].

2.2.2 Dinámica de los músculos extensores durante la técnica de ataque del Voleibol: La influencia de la tendinitis rotuliana

Teniendo en cuenta que la tendinitis rotuliana es una lesión muy común en jugadoras de voleibol, este artículo tiene como objetivo evaluar la dinámica de la articulación de la rodilla en jugadoras de élite que presenten y no presenten este problema. Para ellos se ha evaluado la generación y absorción de la energía mecánica en la articulación de la rodilla.

Por ello se realizó algunas pruebas a las jugadoras de voleibol donde cada una tuvo que ejecutar la técnica de ataque dando el salto vertical con su máximo esfuerzo, esto para cuantificar en el plano sagital la cinética, cinemática y energía presentes en la rodilla de la pierna dominante, usando los datos obtenidos por una plataforma de fuerza y por un sistema de análisis de movimiento de 8 cámaras infrarrojo.

Al contar con toda esta información se procedió a evaluar y comparar los datos obtenidos en ambos grupos (jugadoras que presentaban tal lesión y las que no) como las fuerzas de reacción con el suelo y la velocidad vertical de la pelvis al despegar del suelo mientras se realizó el salto. Obteniendo como resultado que está lesión disminuye la fuerza en el apoyo de la pierna en la que se encuentra la rodilla afectada [33].



Figura 2.8 Desarrollo de la prueba para la captura de las fuerzas de reacción y velocidad vertical [34].

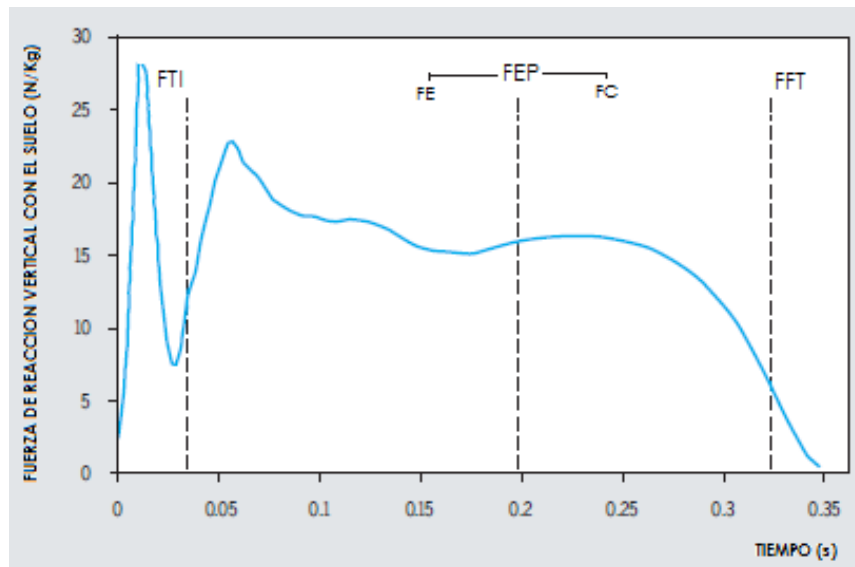


Figura 2.9 Curva de la fuerza de reacción vertical con el suelo delineando las fases de movimiento de la técnica de ataque. La fase extensora neta (FEP) comprende la combinación la Fase excéntrica (FE) y la Fase concéntrica (FC), la Fase transitoria inicial (FTI) y la fase de flexión terminal (FFT) [33].

2.2.3 Técnica de bloqueo con salto estático: posición inicial de forma vertical vs posición inicial con sentadilla

En el presente artículo tiene como objetivo determinar las diferencias mecánicas entre dos posiciones de partida al realizar un salto, principalmente la altura vertical máxima alcanzada y el tiempo que duro el salto mientras se realiza la técnica de bloqueo del voleibol; así también, de investigar cual de éstas dos posiciones es mecánicamente óptima para ejecutar está técnica durante un juego de voleibol.

Para esto se utilizó una plataforma de fuerza y una cámara de video para registrar en cada prueba las fuerzas de reacción con el suelo (Ver Figura 2.11) y el movimiento que involucra ejecutar la técnica de bloqueo. Estas pruebas fueron realizadas por jugadoras de voleibol de alto rendimiento donde cada una realizó dos pruebas, ambas involucraban realizar un salto simulando la técnica pero con la diferencia en la posición de partida.

Una posición de partida implicaba no flexionar las rodillas (Ver Figura 2.10.a), mientras que la otra era necesario realizar una pequeña flexión en ambas rodillas, similar a la de una sentadilla (Ver Figura 2.10.b). Teniendo como resultado que la posición de partida no altera mucho en la altura que puede alcanzar la voleibolista realizando la técnica de bloqueo pero si afecta en cuanto a fatiga o cansancio.

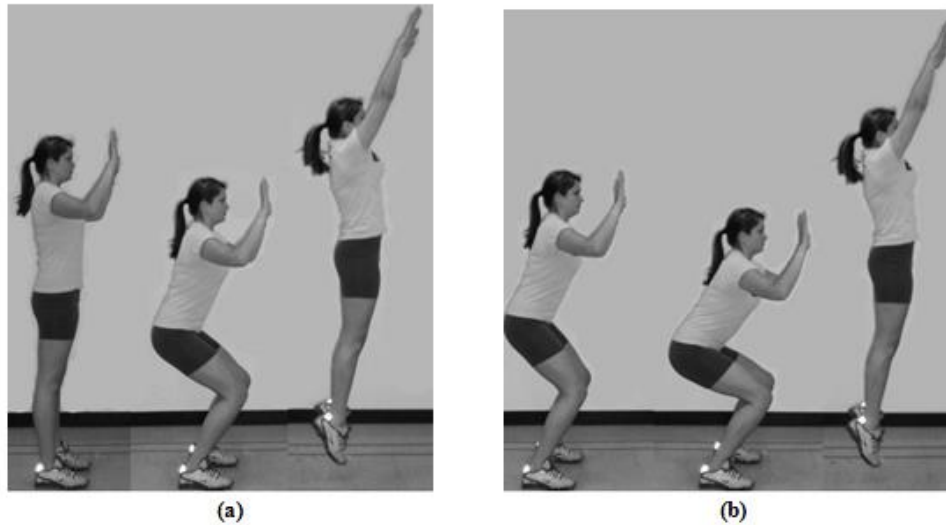


Figura 2.10 Posiciones de partidas (a) Sin flexionar ambas rodillas. (b) Con una pequeña flexión en ambas rodillas (Sentadilla) [35].

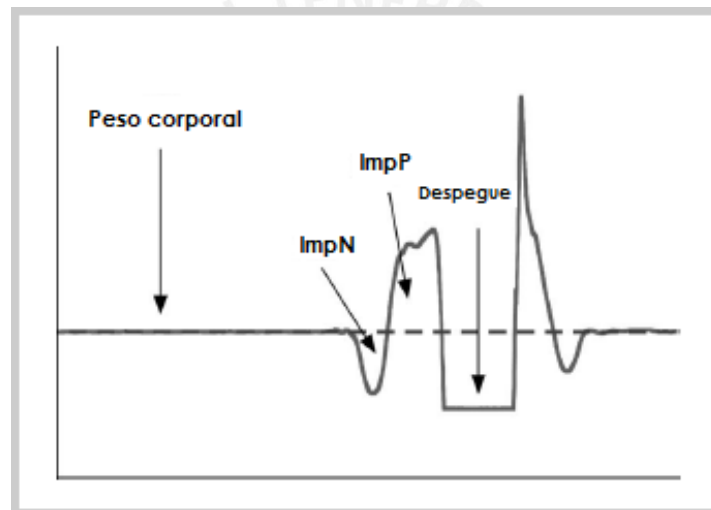


Figura 2.11 Curva representativa de la fuerza de reacción vertical de un salto de bloqueo [35].

2.2.4 Efecto de del uso de una ortesis de tobillo sobre la cinética y cinemática de la rodilla durante tareas específicas de voleibol

El estudio presente en este artículo tiene como propósito cuantificar el efecto del uso de una ortesis para tobillo en la cinética y cinemática de la rodilla en las jugadoras de voleibol de alto rendimiento durante tareas funcionales específicas del voleibol. Además, de analizar los resultados relacionados a las fuerzas presentes en la rodilla, los picos presentes en las fuerzas de reacción con el suelo y el tiempo en alcanzar estos puntos máximos.

Para obtener estos datos se realizó pruebas en jugadoras de voleibol que no contaran con alguna lesión o enfermedad que afecte su rendimiento musco-esquelético durante la prueba o que no

tenga antecedente de cirugía de rodilla o tobillo. La prueba consistió en realizar dos veces una serie de tareas que se realizan en el voleibol, la primera vez se realizó sin la ortesis y otra con la ortesis puesta en el tobillo (Ver Figura 2.12.a).

La serie estaba conformada por tres tareas en línea recta (correr, bloqueo y remate) y otro conjunto de tareas de forma laterales (corte, bloqueo y empujar, y punto y cubierta). En cada prueba se utilizó un sistema de 14 cámaras infrarrojo (Ver Figura 2.12.b) para la obtener la cinemática de cada tarea realizada por la jugadora de voleibol y una plataforma de fuerza para capturar las fuerzas de reacción con el suelo.

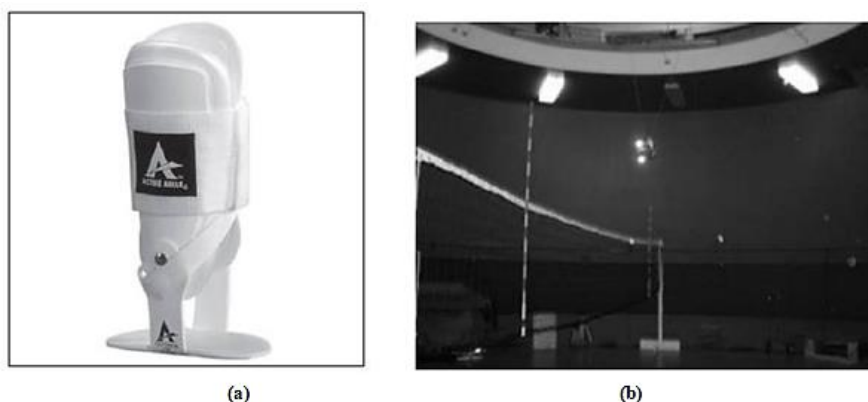


Figura 2.12 (a) Ortesis de tobillo. (b) Ambiente donde se desarrolló las pruebas [36].

Tabla 2.2 Promedio de máximas fuerzas de reacción con el suelo y tiempos hasta la máxima fuerza de reacción con el suelo durante los ensayos con o sin ortesis [36].

	Promedio con ortesis (DE)	Promedio sin ortesis (DE)
Máxima fuerza de reacción con el suelo (N/kg)		
Tareas de movimientos en línea recta		
Correr	2.32 (0.19)	2.32 (0.22)
Bloqueo	1.89 (0.35)	1.90 (0.43)
Ataque	3.62 (1.15)	3.85 (1.05)
Tareas de movimientos laterales		
Corte	2.34 (0.36)	2.51 (0.37)
Bloqueo y empujar	3.51 (0.56)	3.71 (0.50)
Punto y cubierta	4.73 (1.14)	4.55 (1.08)
Tiempo de máxima fuerza de reacción con el suelo (s)		
Tareas de movimientos en línea recta		
Correr	0.10 (0.01)	0.10 (0.01)
Bloqueo	0.07 (0.02)	0.08 (0.02)
Ataque	0.03 (0.01)	0.03 (0.01)
Tareas de movimientos laterales		
Corte	0.10 (0.05)	0.09 (0.04)
Bloqueo y empujar	0.07 (0.02)	0.08 (0.02)
Punto y cubierta	0.04 (0.01)	0.04 (0.01)

2.2.5 Fuerzas verticales de reacción con el suelo y Electromiograma (EMG) durante el aterrizaje en tobillos funcionalmente inestables.

El estudio presentado en este artículo tiene como objetivo comparar las fuerzas de reacción verticales con el piso y la actividad electromiográfica de ciertos músculos (peroneo largo, tibial anterior y gastrocnemio lateralis) en voleibolistas con y sin inestabilidad funcional en el tobillo durante el aterrizaje luego de haber realizado la técnica de bloqueo de voleibol.

Para la adquisición de estos datos se realizaron pruebas en jugadores profesionales de voleibol haciendo uso de una plataforma de fuerza y de electrodos, estos eran colocados en el cuerpo de los jugadores de voleibol en zonas específicas para tomar información solo de los músculos mencionados. Luego de colocar los electrodos, se tenía que realizar un salto encima de la plataforma de fuerza imitando la técnica de bloqueo.

Toda la información tomada por ambas tecnologías, fue procesada en Matlab teniendo como resultado que las personas que presentan inestabilidad funcional muestran una menor activación en el músculo peroneo largo durante la fase previa al aterrizaje mientras que la fuerza de reacción vertical en ambos casos tuvo una mínima diferencia [37].

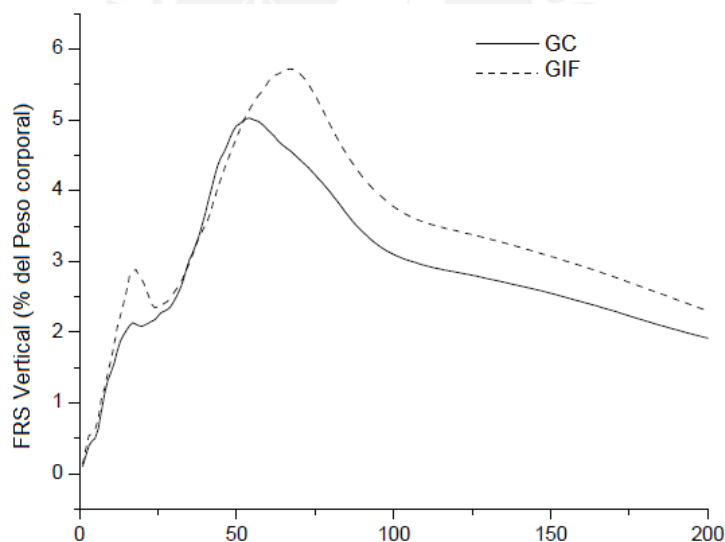


Figura 2.13 Representación gráfica del promedio de la Fuerza de reacción con el suelo (FRS) vertical durante el aterrizaje para un grupo de control (GC) y un grupo de inestabilidad funcional (GIF) [37].

CAPÍTULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DINÁMICA

En el presente capítulo, se describirán las consideraciones que se tuvieron para desarrollar el diseño conceptual del sistema portátil de evaluación dinámica basado en una distribución correcta de las plataformas de fuerzas en una base portátil para estas plataformas, la cual es objeto de estudio, diseño y ubicación optima en este trabajo de tesis.

3.1 Requerimientos

Los requerimientos necesarios para realizar un sistema portátil de evaluación dinámica basado en una configuración correcta de las plataformas de fuerzas serán explicados de forma detallada a continuación. Cabe resaltar que estas exigencias comprenden los parámetros adecuados que se deben tener en cuanto al ambiente, a la tecnología a usar, la base a diseñar para las plataformas, la interfaz de presentación donde se mostrarán los resultados y las condiciones que los sujetos de prueba deben contar.

3.1.1 Ambiente

Es necesario de un ambiente con las siguientes condiciones para poder realizar una correcta evaluación:

- Amplio con un piso horizontal, de preferencia una cancha de voleibol para poder simular la técnica de recepción sin problemas.
- Despejado para que no limite las condiciones físicas y psicológicas de las voleibolistas de élite al realizar la técnica de recepción durante las pruebas oficiales.

Para las pruebas piloto, un área el cual permita ejecutar la técnica sin interrupciones sería adecuada.

3.1.2 Tecnologías

Para la realización de la base es necesario analizar previamente el área de trabajo utilizando el método de procesamiento digital de imágenes, por lo cual se hará uso de dos cámaras para capturar la separación de los pies en dos planos (Sagital y frontal), estas requieren de las siguientes consideraciones:

- Deben ser colocadas a una altura no mayor de 10 cm con respecto al piso, la cual permita capturar la mitad del cuerpo, es decir desde la cadera hasta los pies.
- Las lentes de ambas cámaras deben estar direccionadas de lo más perpendicular al plano sagital y frontal.
- Cuento con una resolución de imagen en grabación de 1080/60 pixeles.
- Permita grabar a unos 120 cuadros por segundos para un mejor análisis de las imágenes.

Además, ya que para la evaluación del movimiento de los miembros inferiores se necesita como dato de entrada las fuerzas de reacción con el piso mientras se realiza la técnica de recepción

básica, se hará uso de dos plataformas de fuerzas, las cuales deben contar con los siguientes requerimientos:

- Deben encontrarse al nivel del suelo o de la superficie de la base que las contenga.
- Deben ser distribuidas en el centro de la base en una posición que permita una evaluación correcta.
- Un requerimiento importante es la seguridad eléctrica, las plataformas y su sistema que deben mantenerse aislados de la humedad y contar con una puesta a tierra confiable.
- No se debe sobrepasar del rango de peso de 0.5 – 300 Kg sobre las plataformas.
- La temperatura a la que estarán expuestas tienen que estar dentro de los -17 a 52°C.
- La exactitud de medición de cada plataforma será de $\pm 0,1\%$ de la carga aplicada
- En cuanto energía, el rango de excitación con el que debe contar la plataforma es entre 2.5 – 10 V.
- Se cuente con dos acondicionadores de señal de fuerza (que pueden ser amplificadores analógicos y/o procesadores digitales).
- Para la transmisión de señal entre las plataformas y acondicionadores se debe tener dos cables RS232.
- Para la visualización de la información obtenida por las plataformas se requiere contar una computadora Windows 7 (Core i5) con un software especializado.
- Se necesita de una llave Sentinel para la obtención de información del software especializado.

3.1.3 Base portátil de las plataformas

El área superficial de la base debe cubrir más del rango de desplazamiento de todo el cuerpo (miembros superiores e inferiores) que realiza una voleibolista al ejecutar la técnica de recepción. Además, debe ser portátil, ya que las pruebas oficiales deberán ser realizadas de lo preferente en una cancha de voleibol.

3.1.4 Interfaz de presentación

Se debe contar con un interfaz entendible y accesible con el usuario donde se muestren los parámetros necesarios para el análisis del movimiento característico de la técnica de recepción.

3.1.5 Sujeto de prueba

Deber ser una jugadora de voleibol de alto rendimiento, la cual no debe contar con alguna lesión en los miembros inferiores o enfermedad que afecte su rendimiento musco-esquelético durante la prueba, además de no presentar algún antecedente de cirugía en estos.

3.2 Estructura de funciones

La caja negra del sistema (Ver Figura 3.1) está compuesta por 3 entradas y una salida donde la entrada principal es la fuerza de reacción con el suelo durante la ejecución del gesto de la técnica de recepción, mientras que las otras entradas son el suelo donde se apoyará la base portátil y la

energía eléctrica que alimenta a todos los componentes del sistema. Por otro lado, la salida del sistema son los parámetros cinéticos y cinemáticos de los miembros inferiores durante la técnica de recepción como la fuerza de reacción, potencia, impulso y el centro de gravedad del deportista durante la ejecución de la técnica de recepción.

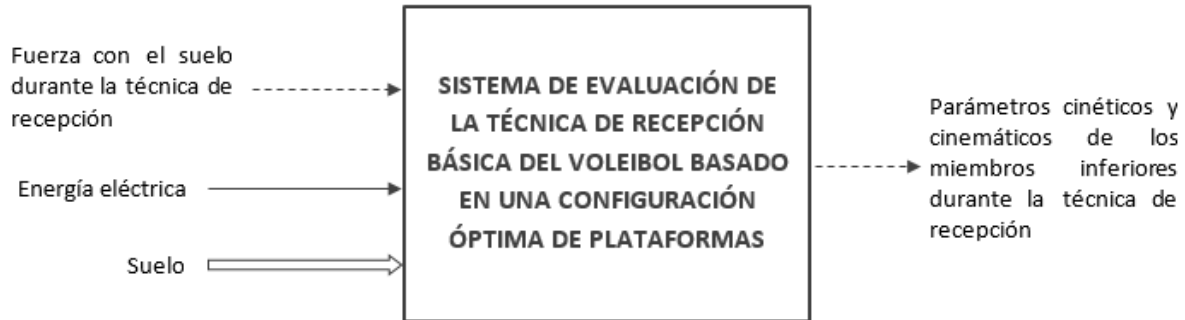


Figura 3.1 Caja negra del sistema.

3.3 Diagrama de funciones

En el diagrama de funciones (Ver Figura 3.12) se puede visualizar de forma clara y concisa la interacción entre las funciones de cada dominio presente en el sistema, las cuales se detallaran a continuación:

Dominio mecánico

- Mantener fija base portátil
- Albergar sensor de fuerza
- Proteger conexiones internas
- Cubrir zona sin plataforma

Dominio de software

- Calibrar sensores de fuerza
- Procesar data cruda
- Obtener parámetros cinemáticos
- Presentar parámetros al usuario

Dominio eléctrico/electrónico

- Energizar acondicionador de señal
- Energizar sensores de fuerza
- Sensor fuerza de reacción
- Transmitir señal
- Filtrar y amplificar señal
- Transmitir data cruda
- Recibir data cruda

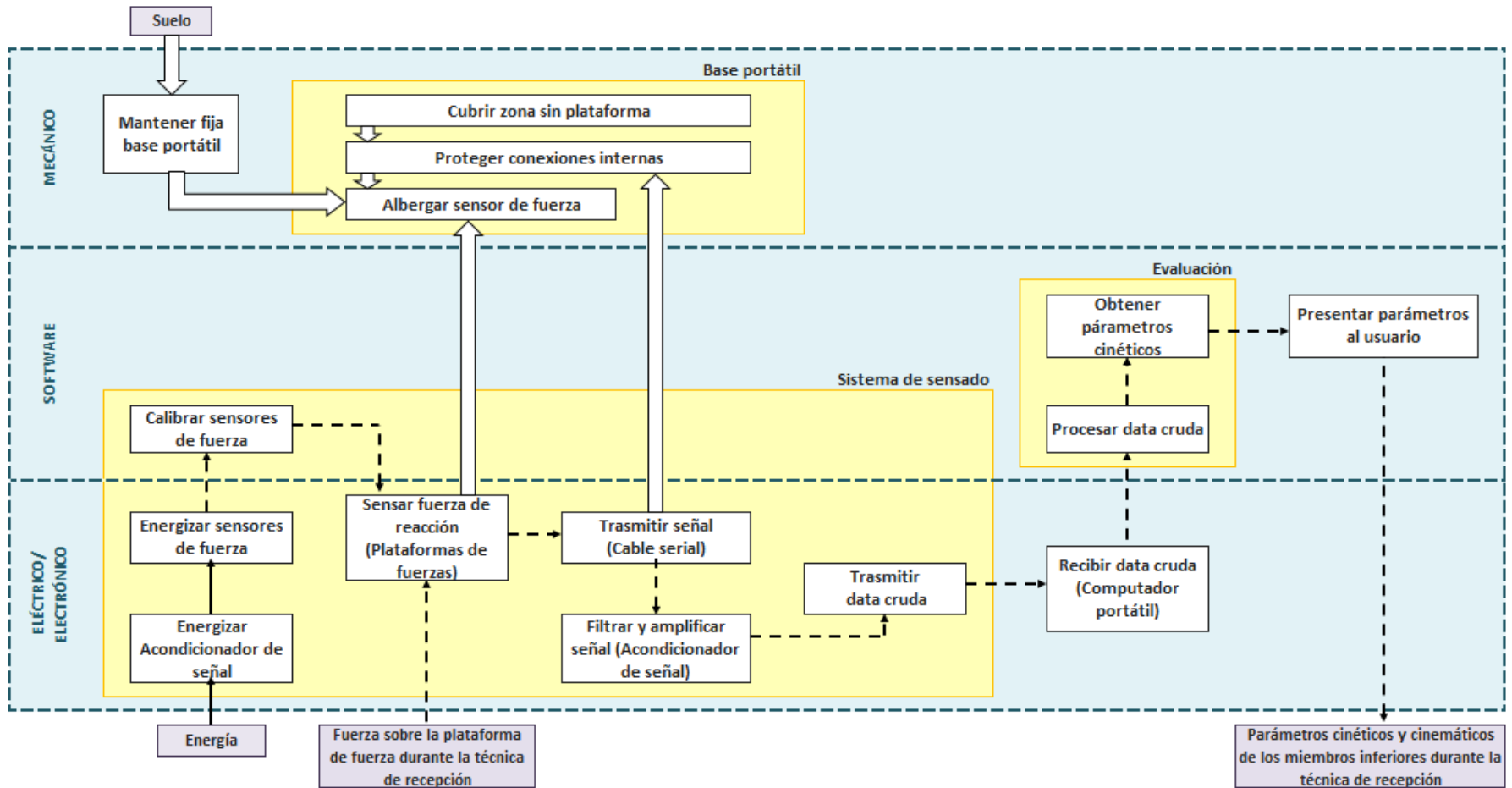




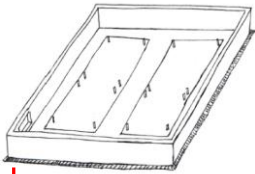
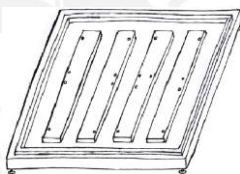
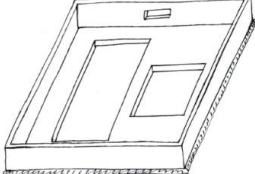
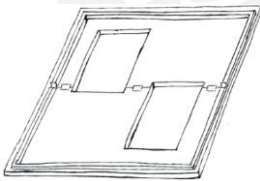
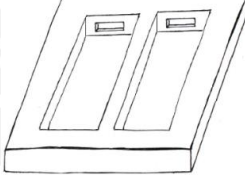
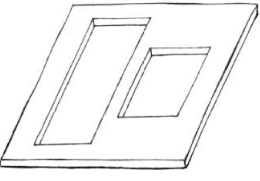

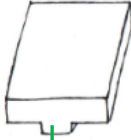
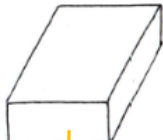
Figura 3.2 Estructura de funciones para la evaluación de la técnica de Recepción.

3.4 Matriz morfológica

Siguiendo la metodología de diseño, se realiza la matriz morfológica que permite resolver cada función propuesta en la estructura de funciones presentada anteriormente por medio de alternativas de solución para obtener un concepto de solución óptimo. En esta oportunidad se dividirá la matriz morfológica en tres: dominio mecánico, eléctrico/ electrónico y de software.


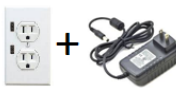













- **Dominio Mecánico**

Tabla 3.1 Matriz morfológica del dominio mecánico

FUNCIÓN	DOMINIO MECÁNICO		
Sostener base	Caucho antideslizante 	Patas ajustables antideslizantes 	
Albergar sensor	Base de madera + tornillos sin cabeza 	base de madera + 4 Rieles de aluminio 	Base de madera 
Proteger componentes internos	Tapa de madera reversible 	Tapa de madera 	Tapa de madera plana 
Cubrir zona sin plataforma	Sin cajón 	2 cajones - Forma T 	2 cajones - Forma rectangular 
Solución	Solución 1	Solución 2	Solución 3









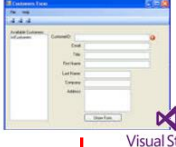
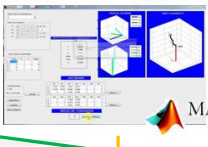
- **Dominio Eléctrico/Electrónico**

Tabla 3.2 Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico

FUNCIÓN	DOMINIO ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO		
Energizar Acondicionador de señal y plataforma de fuerza	Transformador + Adaptador 	Alimentación local + Adaptador 	Batería recargable 
Sensar fuerza de reacción	Plataforma de fuerza piezoeléctrica 	Plataforma de fuerza con galgas extensiométricas 	Plataforma de fuerza con efecto Hall 
Transmitir señal	Cable serial (puertos diferentes) 	Cable serial (puertos iguales) 	Cableado interno 
Filtrar y amplificar señal	Acondicionador de señal OPT 	Dispositivo DAQ 	Acondicionador acoplado a la plataforma 
Trasmitir data cruda	Cable USB 		
Recibir data procesada	Computadora portatil con procesador i5 	Computadora portatil con procesador i3 	
Solución	Solución 1	Solución 2	Solución 3

- **Dominio de Control y/o Procesamiento**

Tabla 3.3 Matriz morfológica del dominio de software.

FUNCIÓN	DOMINIO DE SOFTWARE		
Calibrar sensores	Software GEN5 	Software Labview 	
Procesar data cruda	Software Netforce + BioAnalysis 	Software Netforce + AccuPower 	Software Matlab 
Obtener parámetros cinéticos	Software Visual Studio + Lenguaje C++ 	Software Matlab + Lenguaje C# 	Software Matlab + Lenguaje M 
Presentar parámetros al usuario	Software Visual Studio 	Software Matlab 	
Solución	Solución 1	Solución 2	Solución 3

En conclusión, se puede observar que en las matrices morfológicas presentadas previamente, se tiene 3 posibles soluciones que resolverían la necesidad planteada con anterioridad. Entre estas, la solución 1 es la propuesta más adecuada, ya que a comparación de las demás, los materiales a utilizar son más accesibles que las otras soluciones.

Además, el uso de galgas extensiométricas proporciona una medición de fuerza más precisa y flexible. En cuanto a control y/o procesamiento es recomendable trabajar con los softwares especializados para la obtención de la data procesada, así también para la presentación de los parámetros de la evaluación del movimiento de los miembros inferiores. Por otro lado, con el software Visual Studio es posible la creación de ejecutables accesibles y entendibles para cualquier usuario, lo cual sería aprovechado para el diseño de la interfaz.

3.5 Conceptos de solución

Ante la necesidad de obtener una configuración óptima de las plataformas de fuerza para la evaluación dinámica de los movimientos presentes en los miembros inferiores durante la ejecución de la técnica de recepción básica, se establece una serie de requerimientos que se debe satisfacer para lograr conceptos de solución. Estas exigencias han sido consideradas para realizar la matriz morfológica presentada anteriormente, obteniendo tres propuestas como solución a esta necesidad. Estas serán explicadas de forma detallada a continuación.

3.5.1 Solución 1

En esta primera alternativa la base portátil estará compuesta por dos partes: una base donde serán ancladas las plataformas con la ayuda de unos tornillos sin fin (Ver Figura 3.3) y una tapa que estará al nivel de la superficie de estas (Ver Figura 3 4).

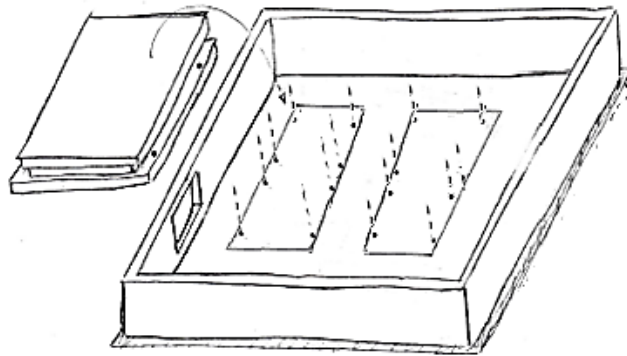


Figura 3.3 Base del concepto solución 1

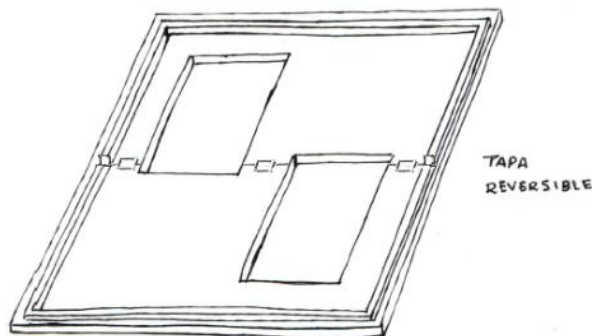


Figura 3 4 Tapa del concepto solución 1

Toda la estructura será hecha de madera para que absorba las pequeñas vibraciones producidas durante la ejecución de la prueba con una base antideslizante, además tendrá algunos nervios de acero para una mayor rigidez de la tapa. Esta a su vez es reversible se podrá doblar por la mitad con la ayuda de unas bisagras para poder revisar las conexiones antes de empezar cada prueba o cada vez que lo requiera y evitarse de sacar toda la tapa.

Por la parte eléctrica/electrónica, y de software (Ver Figura 3.5), la energización del sistema de captura se realizará con la ayuda de un adaptador conectado a un transformador

220V/220V considerando la seguridad eléctrica a través de un sistema de puesta a tierra o el uso de un aislador para la seguridad de las personas y los equipos. La señal será filtrada y amplificada por un acondicionador de señal OPT, este irá conectado por un cable serial a una plataforma de fuerza que trabaja a base de galgas extensiométricas que para su calibración hará uso del software GEN5.

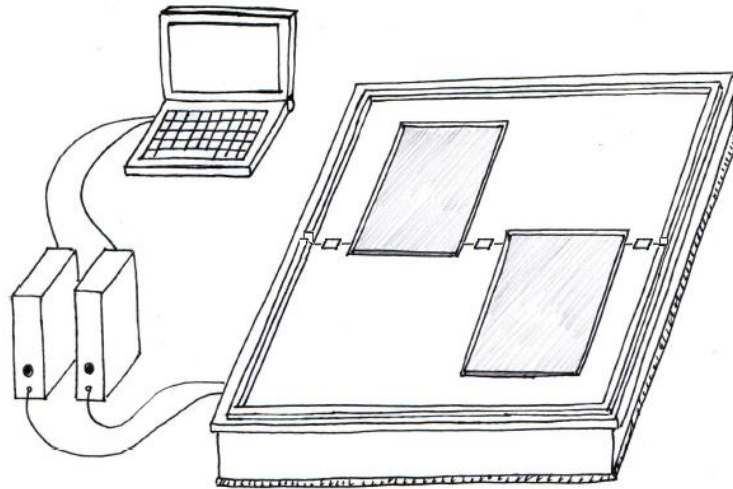


Figura 3.5 Concepto solución 1

El acondicionador de señal mandará la data capturada durante la prueba a la computadora portátil a través de un cable USB para ser procesada por los softwares especializados Netforce y BioAnalysis. Con la información obtenida de estos softwares junto con el Visual Studio se procederá a calcular los parámetros propios de los movimientos de los miembros inferiores con la ayuda de unas ecuaciones. Finalmente, estos parámetros serán presentados al usuario por una interfaz creada también en Visual Studio.

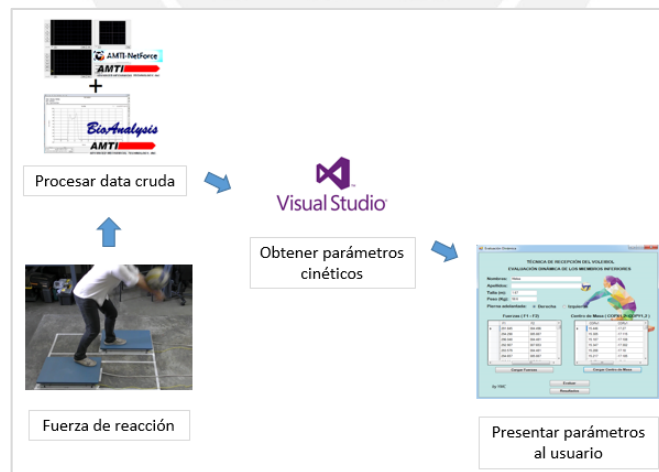


Figura 3.6 Softwares del concepto solución 1

3.5.2 Solución 2

Como se puede observar la matriz morfológica, la base portátil de esta solución tiene cuatro partes: la base (hecha de madera ligera) en las que se anclarán ambas plataformas con la ayuda de unos rieles de aluminio pegados en esta, la tapa cubrirá el área no asignada para las plataformas, los cajones encajaran en las zonas donde no se posicionará las plataforma, y patas ajustables que estarán en cada esquina de la base (Ver Figura 3.7).

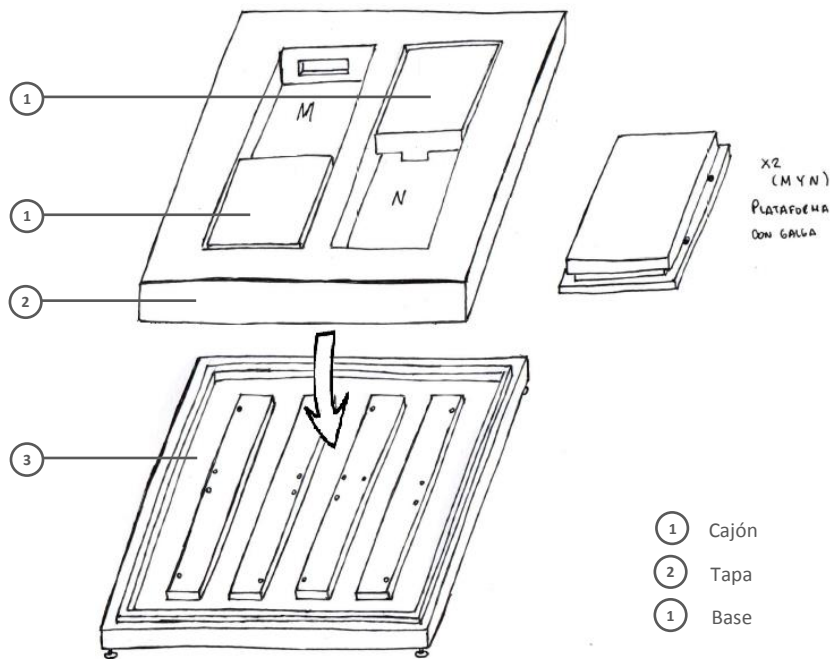


Figura 3.7 Vista explosiva del concepto solución 2

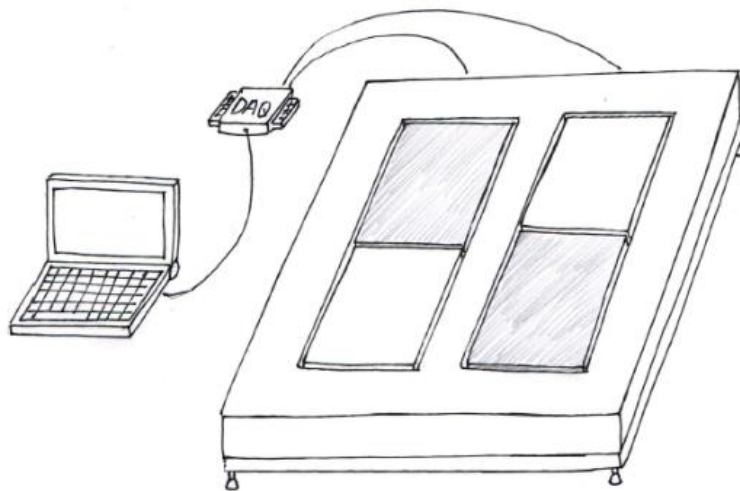


Figura 3.8 Concepto solución 2

En cuanto al dominio eléctrico/electrónico, y software, el sistema de captura se energizará a través de un adaptador conectado a una alimentación local. Luego se acondicionará la señal con la ayuda de un DAQ, este estará conectado por un cable serial a una plataforma de fuerza que trabaja a base de galgas extensiométricas, la cual para su calibración hará uso del software LabVIEW.

La DAQ enviará la data capturada en la prueba hacia la computadora portátil por medio de un cable USB para ser procesada por Matlab. La información resultante será usada para calcular parámetros que describan los movimientos de los miembros inferiores con

la aplicación de algunas ecuaciones. Para finalizar, la presentación de los resultados al usuario será por una interfaz creada también en Matlab.

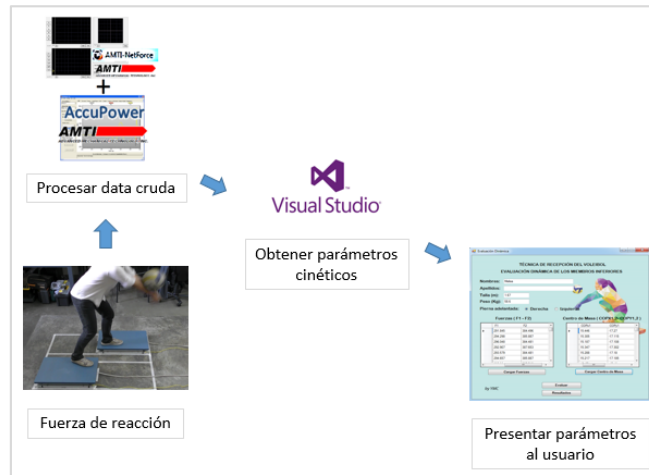


Figura 3.9 Softwares del concepto solución 2

3.5.3 Solución 3

La base portátil de esta solución también consta de 3 partes tales como una base de madera ligera en la que serán solo encajadas las plataformas fuerza con efecto Hall ya que estas no necesitan anclarse a la base, una tapa que protegerá la zona no asignada para las plataformas, un cajón que cubrirá el área donde no se coloque una plataforma (Ver Figura 3.10). Además, se colocará un material antideslizante en la cara inferior de la base para mantenerla fija.

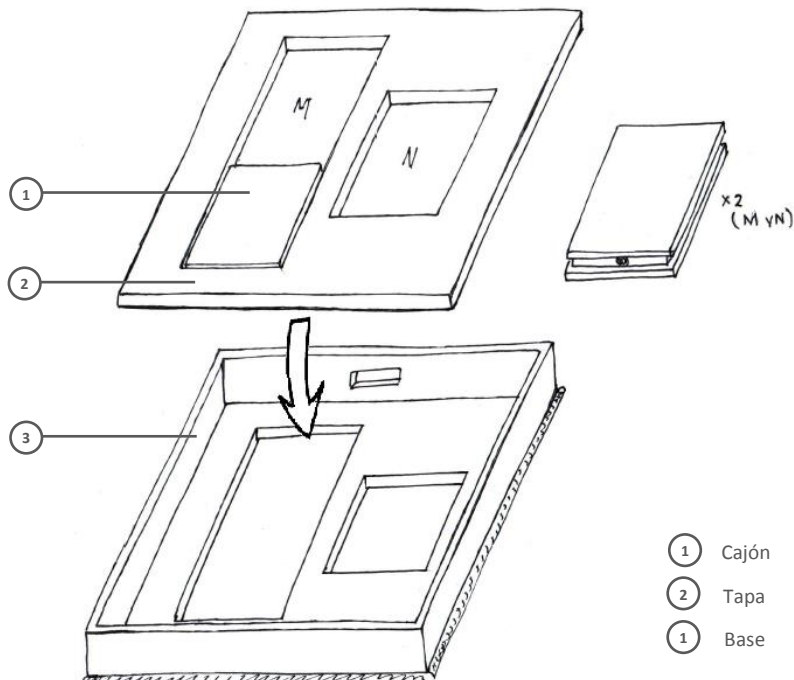


Figura 3.10 Vista explosiva del concepto solución 3

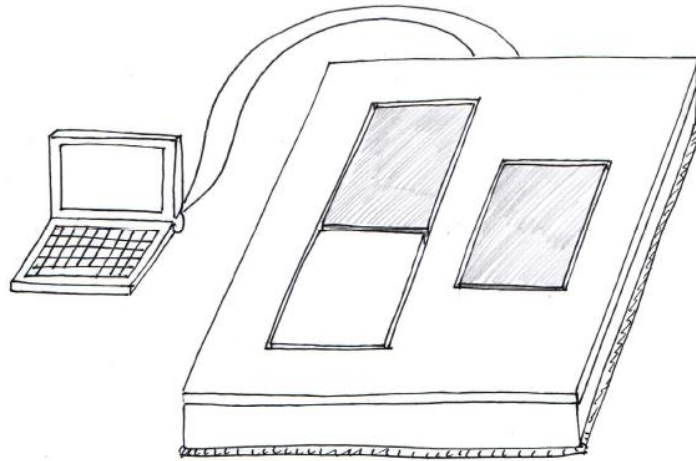


Figura 3.11 Concepto solución 3

Para los dominios faltantes que son eléctrico/electrónico y de software, todo el sistema se energizará haciendo uso de una batería portátil recargable. En cuanto al acondicionamiento de la señal, se hace de forma interna de la plataforma de fuerza, porque al ser una plataforma portátil tiene acoplada a ella su acondicionador de señal por un cableado interno.

Su calibración de esta plataforma es a través del software GEN5 y para el envío de la data capturada hacia el computador portátil se hace uso de un cable USB para que dos software más (Netforce y AccuPower) procesen esta data. Los parámetros del movimiento de los miembros inferiores serán calculados y presentados en una interfaz en Visual Studio.



Figura 3.12 Softwares del concepto solución 3

3.6 Evaluación de conceptos

La evaluación de soluciones se realiza por medio de un análisis en función de criterios técnicos y criterios económicos para poder elegir la solución óptima. A cada uno de los criterios se le asigna un peso relativo, dándole más importancia a algunos criterios sobre otros. Entonces, teniendo en cuenta la metodología establecida para el diseño se procederá a evaluar el valor técnico y económico de cada concepto de solución, cuyos resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 3.4 Valor técnico de cada concepto solución [Norma VDI 2225]

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS								
Valor Técnico (X_i)								
Proyecto: Configuración óptima de plataformas de fuerza para la evaluación dinámica del movimiento presente en los miembros inferiores durante la técnica de recepción								
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)								
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)								
g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
			S1		S2		S3	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	P	gp
1	Función	3	4	12	2	6	3	9
2	Rapidez	2	4	8	3	6	1	2
3	Seguridad	3	4	12	3	9	3	9
4	Facilidad de manejo	2	3	6	2	4	3	6
5	Calidad de Trabajo	3	3	9	2	6	2	6
6	Buen uso de energía	2	4	8	2	4	3	6
7	Grado de cumplimiento de los requerimientos	3	4	12	3	9	2	6
8	Transportabilidad	3	4	12	3	9	2	6
Puntaje máximo $\sum p$ ó $\sum gp$		21	30	79	20	53	19	50
Valor técnico X_i			0.94	0.94	0.63	0.63	0.59	0.60
Orden			1		2		3	

Tabla 3.5 Valor económico de cada concepto solución [Norma VDI 2225]

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS								
Valor Económico (Yi)								
Proyecto: Configuración óptima de plataformas de fuerza para la evaluación dinámica del movimiento presente en los miembros inferiores durante la técnica de recepción								
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)								
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)								
g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
			S1		S2		S3	
Nr.	Criterios de evaluación	g	P	gp	p	gp	P	gp
1	Facilidad de montaje	3	4	12	3	9	2	6
2	Mantenimiento	3	4	12	3	9	2	6
3	Costo de la tecnología	3	2	6	2	6	1	3
4	Costo de operaciones	2	3	6	2	4	2	4
Puntaje máximo $\sum p$ ó $\sum gp$		11	13	36	10	28	7	19
Valor técnico Yi			0.81	0.82	0.63	0.64	0.44	0.43
Orden			1		2		3	

Luego de la respectiva evaluación del valor técnico y económico se puede observar en el diagrama de evaluación (Ver Figura 3.13) que el concepto solución con mayor puntuación es la solución 1 (S1) siendo sus características técnicas y económicas las más apropiadas para cumplir con los requerimientos planteados al inicio. Teniendo en cuenta estos resultados se elegirá el concepto solución S1 para el desarrollo del presente proyecto.

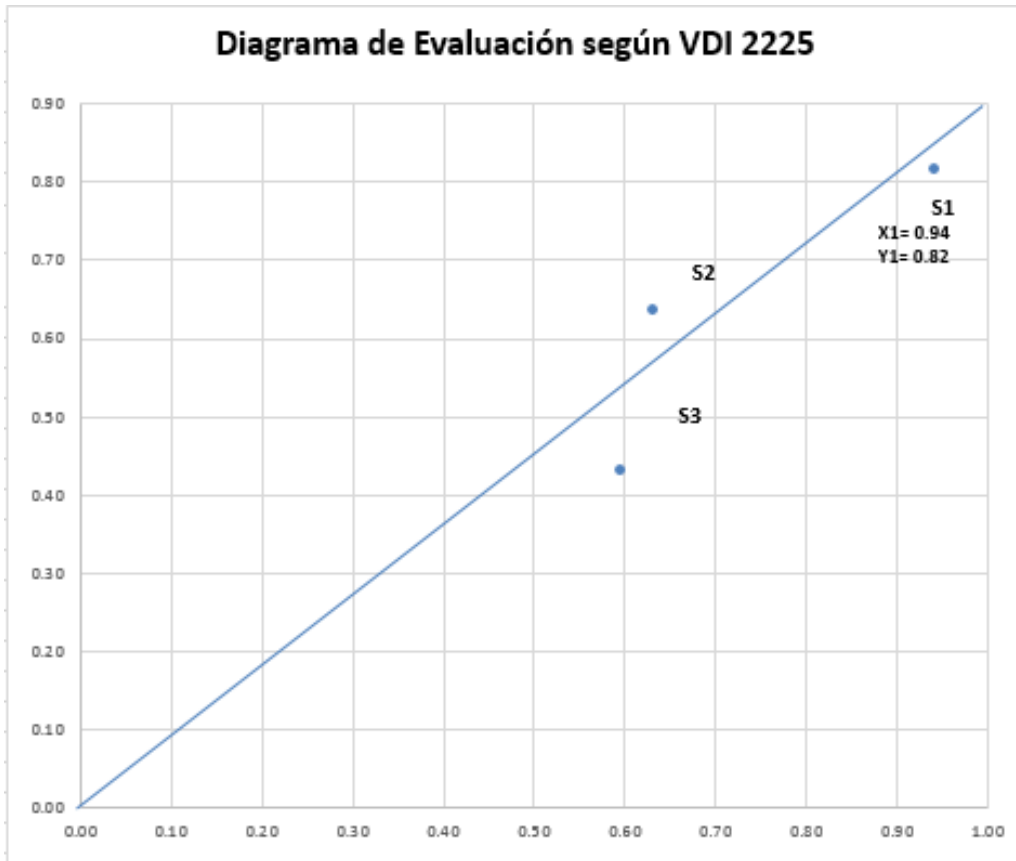


Figura 3.13 Diagrama de evaluación [Norma VDI 2225]

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE LAS PLATAFORMAS

En este ítem se realizará el análisis para determinar la configuración óptima de las plataformas durante la ejecución de la técnica de recepción básica baja donde las voleibolistas calificadas deben adoptar una posición que involucra una separación entre los pies en dos planos del cuerpo (sagital y frontal) dentro de un área.

Para el presente estudio, esta área de desplazamiento o trabajo es de suma importancia para el diseño del sistema de evaluación dinámica, ya que la posición correcta de las plataformas permitirá un buen análisis de la técnica en mención.

4.1 Protocolo de pruebas para el análisis del área de trabajo de la técnica de recepción

Para el análisis del área se realizaron algunas pruebas con la participación de deportistas de la selección de voleibol femenino de la PUCP donde se grabó el desarrollo de la técnica de recepción de cada voleibolista siguiendo un protocolo. El cual contempla las siguientes consideraciones.

4.1.1 Sujeto de prueba

Los sujetos deben ser del sexo femenino con características antropométricas promedio como peso, tamaño y edad de una jugadora de la selección juvenil de voleibol peruana (Ver ANEXO C:) para obtener datos cerca de lo normal. Tendrán que vestir una ropa cómoda usando las zapatillas con las que comúnmente entrenan.

Así también, luego de escuchar el proceder de la prueba, los sujetos de prueba deben firmar un consentimiento aceptando las condiciones propuestas. Antes de empezar la prueba, se deberá registrar los datos de cada sujeto como nombre, peso, altura, longitud y ancho de calzado.

4.1.2 Ambiente

Las pruebas tienen que ser realizadas en un ambiente despejado y amplio de aprox. 4 x 5 m² donde el área asignada para ejecutar la técnica es de 2 x 2 m². El piso no debe contar con alguna inclinación para poder capturar de forma correcta el desplazamiento de los pies en ambos planos con las dos cámaras.

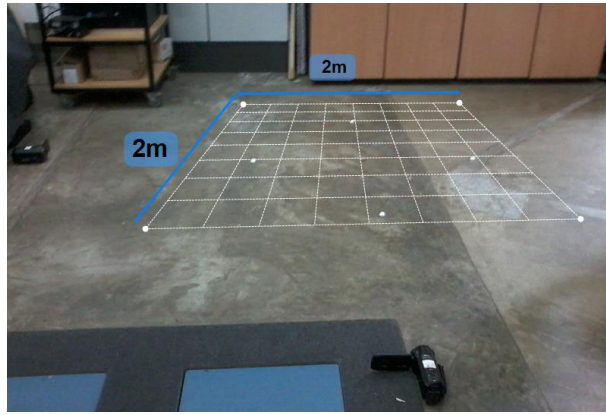


Figura 4.1 Área de ejecución de la técnica de recepción.

4.1.3 Equipo

El equipo utilizado para estas pruebas son los siguientes:

- Dos cámaras Panasonic de marca HC-VX980, las cuales serán colocadas perpendicularmente a los planos sagital y frontal de la voleibolista. Estas estarán a un metro de distancia del área de ejecución de la técnica de recepción.
- Del Software Kinovea para el procesamiento del registro, el cual permite escalar medidas.

4.1.4 Gesto técnico

Para la simulación de la técnica de recepción en el ambiente de prueba, el balón es enviado con una velocidad y dirección constante. Este es dirigido desde una distancia fija de 4 metros donde su trayectoria debe ser de forma parabólica alta, de tal manera que el ángulo de incidencia del balón es aprox. 80° con respecto al plano formado por los antebrazos (Ver Figura 4.2).

Además, el sujeto de prueba o voleibolista calificada debe ejecutar la técnica de forma exitosa, es decir que la pelota luego del impacto siga la trayectoria deseada por el jugador y que llegue al destino planteado por el jugador.

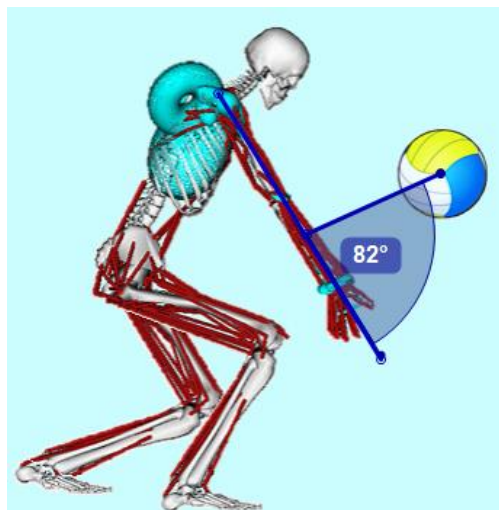


Figura 4.2 Gesto técnico de recepción básica baja (simulado en OpenSim y dimensionado en Kinovea).

4.2 Determinación del área de trabajo de una voleibolista

Para determinar las dimensiones de esta área de trabajo en la que se desplaza la voleibolista, se utiliza el método de procesamiento digital de imágenes. Esto se da con la ayuda de dos cámaras para el registro videográfico del área y un software de procesamiento (Kinovea) para la obtención de dichas dimensiones. El cálculo de estas permite estimar la longitud de separación entre ambas plataformas, al igual que su desfase.

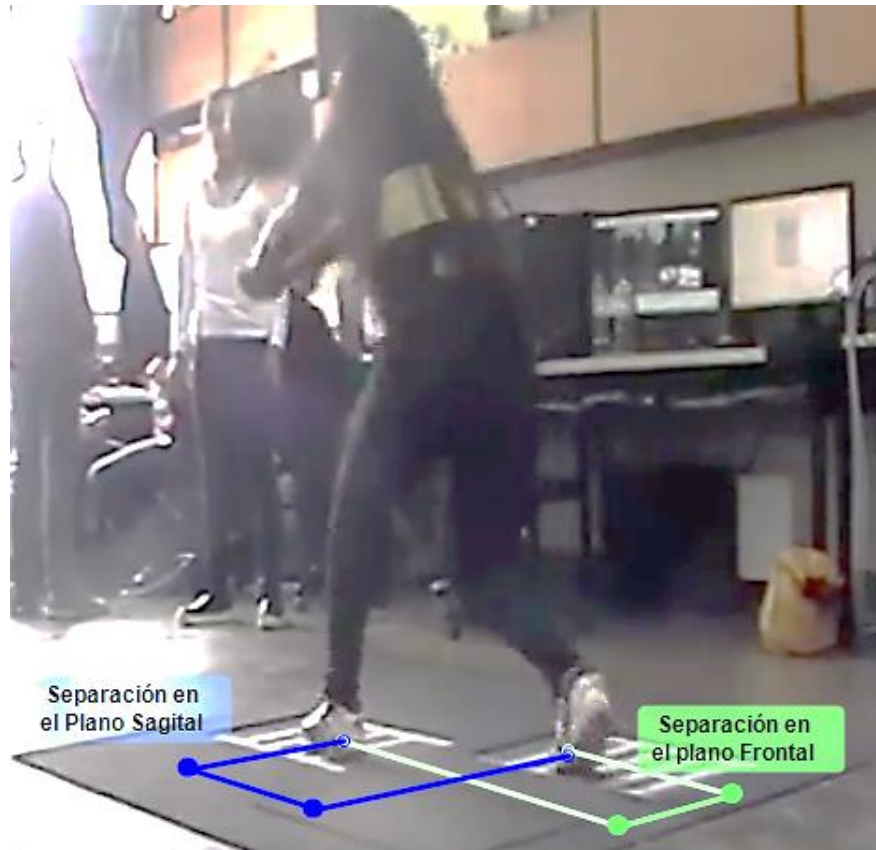


Figura 4.3 Área de trabajo de la técnica de recepción básica baja - Vista isométrica

4.2.1 Captura de datos videográficos

Para la captura videográfica se coloca una cámara perpendicularmente al plano sagital y otra, al plano frontal. Luego, la voleibolista se coloca en el medio de la zona delimitada para la prueba y se procede a registrar el área en el que se desplaza la voleibolista al ejecutar la técnica de recepción.

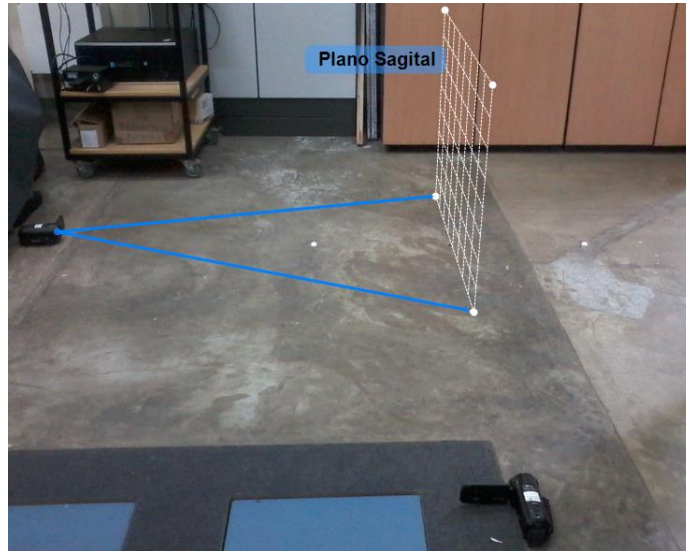


Figura 4.4 Cámara para el registro del plano sagital

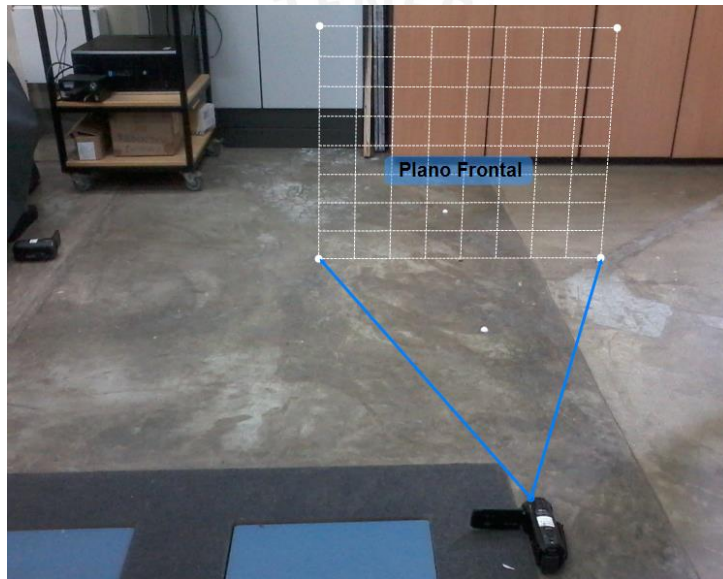


Figura 4.5 Cámara para el registro del plano frontal

4.2.2 Procesamiento digital usando Kinovea

Se ubica puntos de referencias en el piso y las zapatillas para poder escalar la separación entre los pies en el plano sagital (Ver Figura 4.7) y frontal (Ver Figura 4.9). Después de procesar cada video, las medidas obtenidas fueron registradas en una tabla (Ver Tabla 4.21) para una mejor visualización de los datos.

Plano Sagital



Figura 4.6 Posición en el Plano Sagital previa a la técnica de recepción.

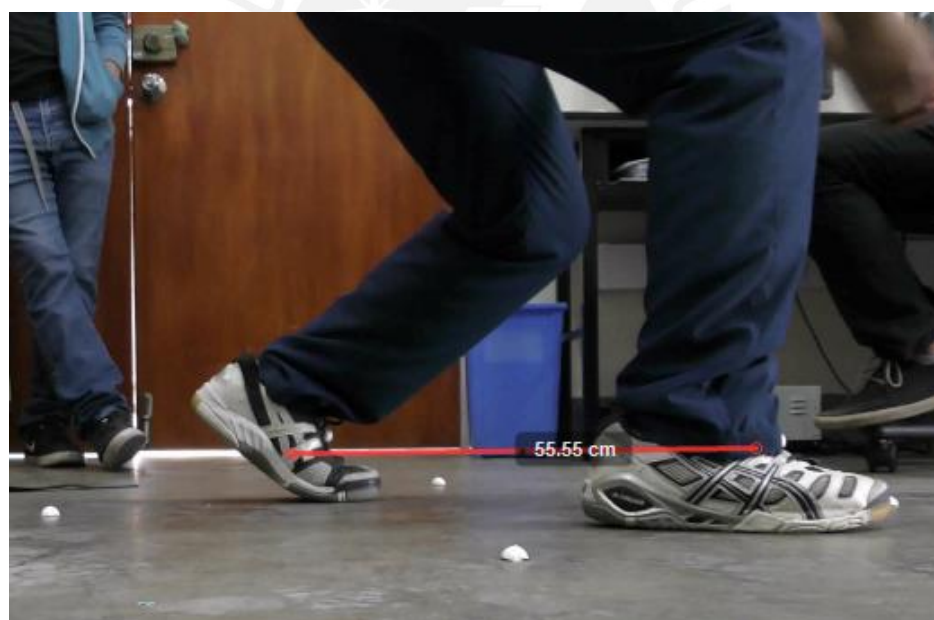


Figura 4.7 Separación máxima entre los pies en el Plano Sagital durante la técnica de recepción.

Plano Frontal



Figura 4.8 Posición en el Plano Frontal previa a la técnica de recepción.

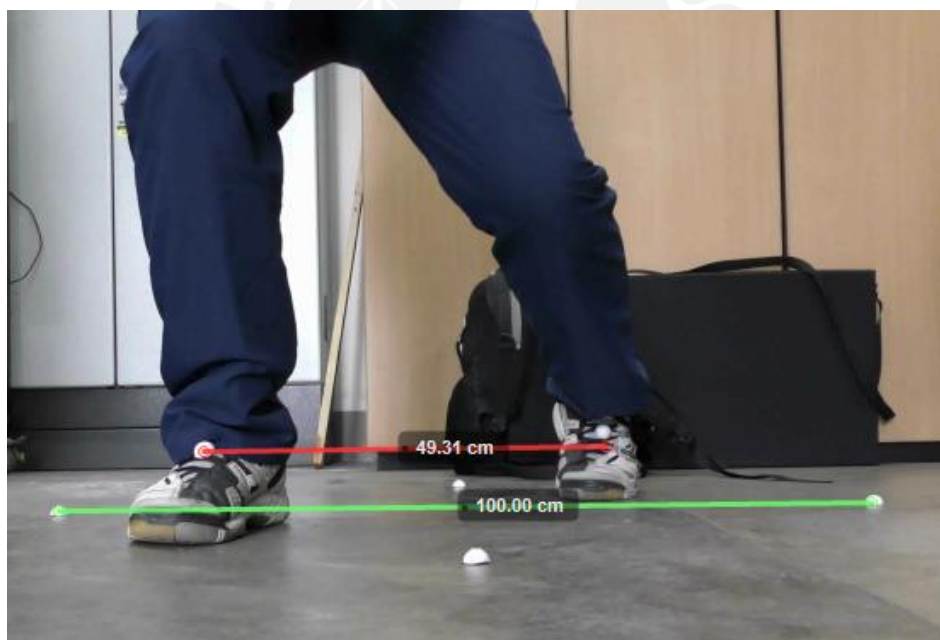


Figura 4.9 Separación máxima entre los pies en el Plano Frontal durante la técnica de recepción.

Tabla 4.1 Datos obtenidos con cámaras más Kinovea

A	Ancho de Pie [cm]	13.49	13.04	13.33	12.38	13.16	13.77	
L	Longitud de Pie [cm]	30.89	30.85	30.78	30.89	30.59	30.89	
SP	Separación entre pies [cm]	Plano Sagital	55.55	58.25	65.18	53.65	54.94	52.56
SF		Plano Frontal	49.31	59.02	64.5	49.91	48.02	66.02

4.2.3 Cálculo estadístico de dimensiones

Se hace uso de la estadística descriptiva para estimar la separación y desfase de las plataformas. Por lo cual, se halla la media de cada una de las medidas tomadas previamente, estos parámetros son ingresados en los siguientes esquemas para obtener un máximo y mínimo de cada medida. Y así, conseguir un valor promedio de cada dimensión requerida.

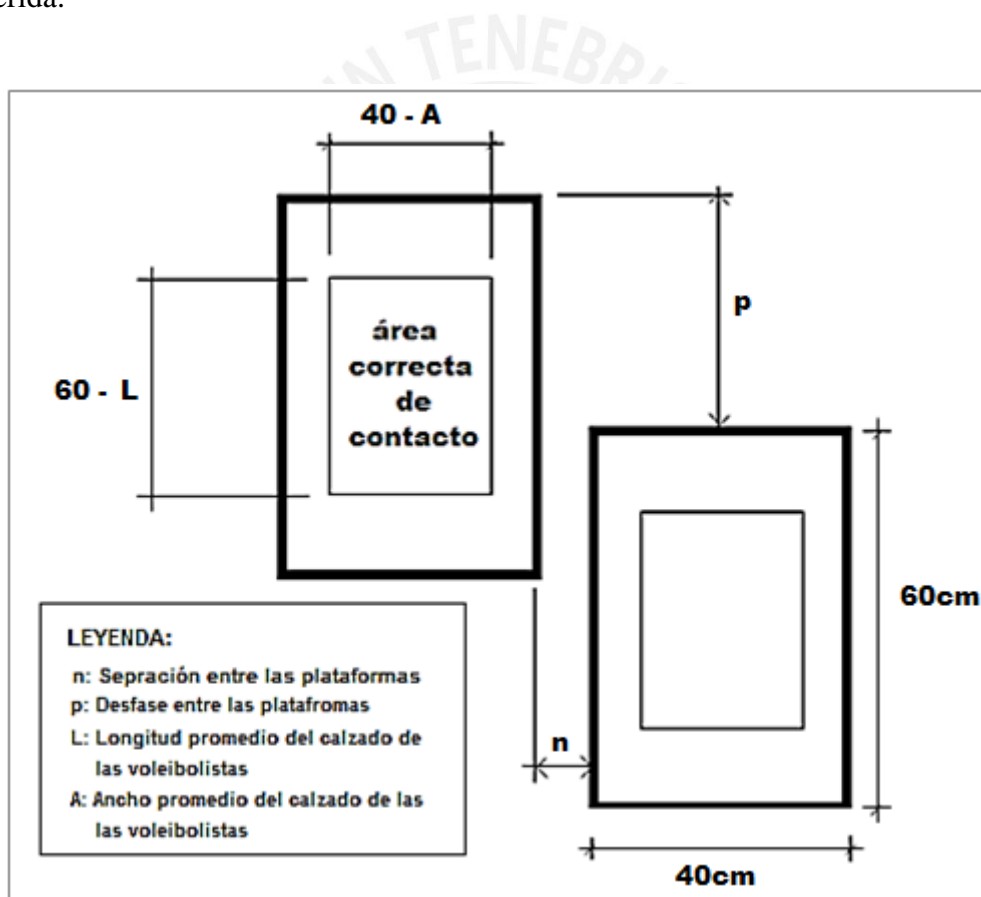


Figura 4.10 Esquema de configuración de las plataformas de fuerzas.

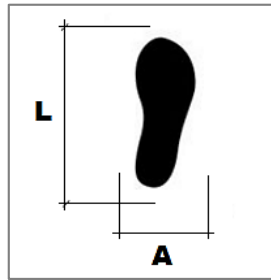


Figura 4.11 Medidas del pie de las voleibolistas.

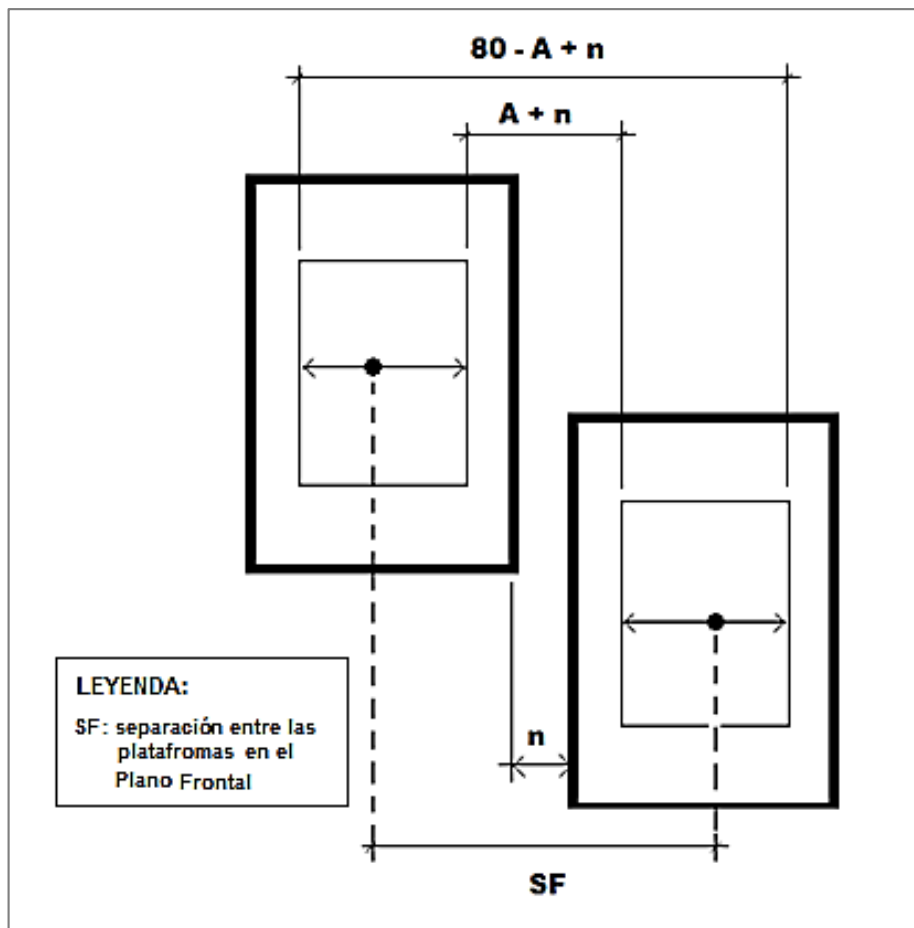


Figura 4.12 Esquema para el cálculo de la separación entre ambas plataformas.

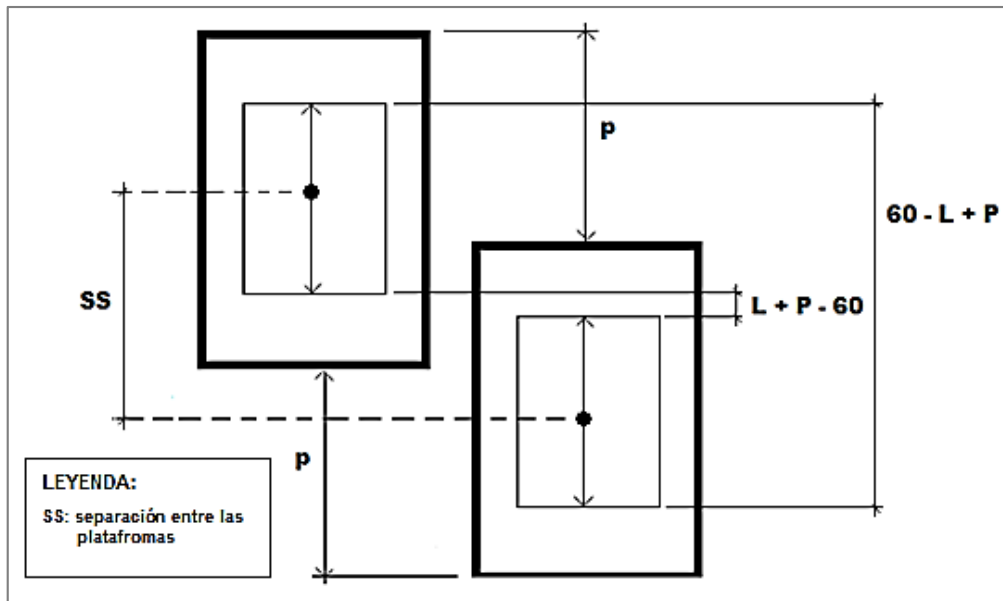


Figura 4.13 Esquema para el cálculo del desfase entre ambas plataformas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos (Ver Tabla 4.2 y Tabla 4.3) gracias a los esquemas y los datos estimados por el Kinovea (separación de los pies en el plano sagital y frontal) en las pruebas, todas las medidas están en cm.

Tabla 4.2 Separación promedio entre las plataformas (n).

SF		56.13
n	Max.	42.94
	Min.	-10.68
Promedio n		16.13
Aproximado		17.00

Tabla 4.3 Desfase promedio entre las plataformas (p).

SS		56.69
p	Max.	85.87
	Min.	27.50
Promedio p		56.69
Aproximado		57.00

Por lo tanto, según los resultados obtenidos, las plataformas de fuerzas deben tener una separación de 17cm y un desfase de 57 cm. Estos datos deberán de ser considerados para el diseño del sistema de evaluación dinámica.

CAPÍTULO 5: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DINÁMICA

En el presente capítulo se explicará al detalle el sistema integrado que se obtuvo anteriormente como el concepto solución óptimo del sistema de evaluación dinámica. La elección de este concepto viene respaldada por los requerimientos, así como también por el análisis de la estructura de funciones y el estudio de las matrices morfológicas por dominios. Adicionalmente, el diseño final fue pulido a partir de los múltiples conceptos preliminares de solución, de la evaluación de los valores técnicos/económicos de estos conceptos, pero en especial, por el análisis del área de trabajo de la voleibolista mientras se ejecuta la técnica de recepción.

5.1 Presentación del sistema integrado

El sistema integrado comprende tres dominios para su funcionamiento presente en los sistemas mecánico, electrónico, y control y/o procesamiento. El cual consta de dos plataformas de fuerzas dispuestas en una configuración que permita evaluar de forma correcta la técnica de recepción básica baja, ambos dispositivos son adheridos a una base de madera. La tapa al igual que los cajones son usados para nivelar las superficies de ambas plataformas con la cara superior de esta.

La señal que emite las plataformas durante las pruebas se envía a unos amplificadores digitales a través de unos cables seriales, estos a su vez son conectados vía USB a la computadora para interpretar la señal y presentar al usuario los resultados por medio de una interfaz amigable. Cabe resaltar que la energización del sistema es suministrada por estos amplificadores, los cuales se conectan a una toma de corriente, a través de un transformador.

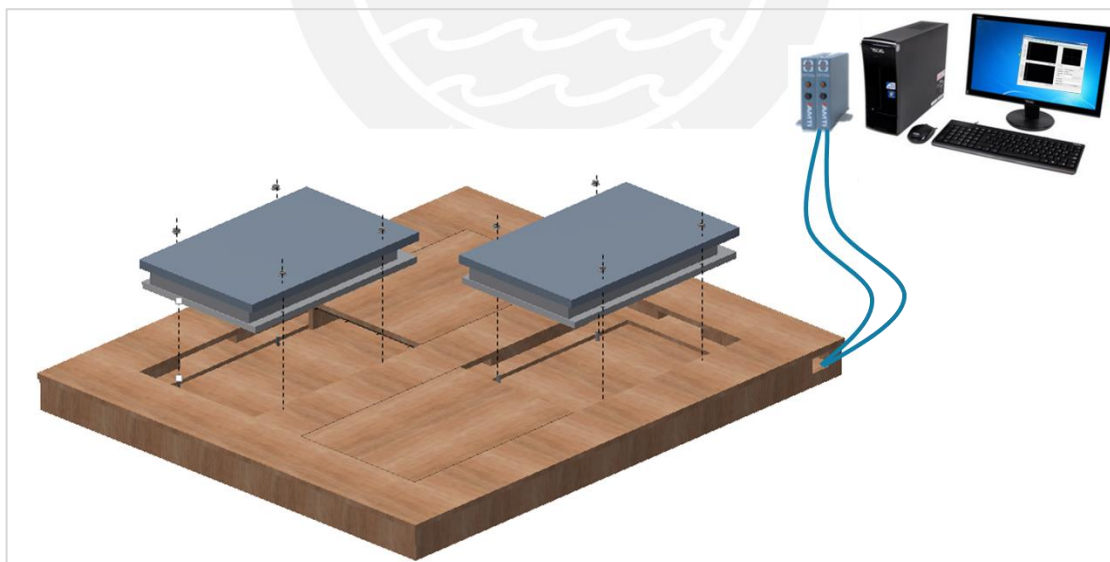


Figura 5.1 Diseño del sistema integrado.

5.2 Sistema mecánico

El sistema mecánico del sistema integrado está compuesta por 3 partes: una base, una tapa y dos cajones del mismo tamaño. Se procederá a explicar cada una de estas partes donde cada una pasó un análisis de esfuerzo en Inventor considerando como fuerza crítica

el peso promedio de una deportista perteneciente a la selección juvenil peruana de voleibol (Ver ANEXO C: y ANEXO D:).

5.2.1 Base

Es una estructura de madera (Ver Figura 5.2) en la cual son anclados a las plataformas de fuerzas con la ayuda de ocho espárragos de acero galvanizados (Ver ANEXO I:) y ocho tuercas (Ver ANEXO J:). Estos espárragos se colocan los orificios presentes en la cara superior de la base. Además, se ha dispuesto de dos soportes en la mitad de la base, para evitar deformaciones en la tapa debido al peso promedio de la voleibolista a evaluar. Las medidas de la zona de anclaje para las plataformas se obtuvieron anteriormente por el análisis del área de desplazamiento de la técnica de recepción. Así mismo, para las medidas de holgura se ha tenido como referencia las recomendadas por la misma marca (Ver ANEXO F:).

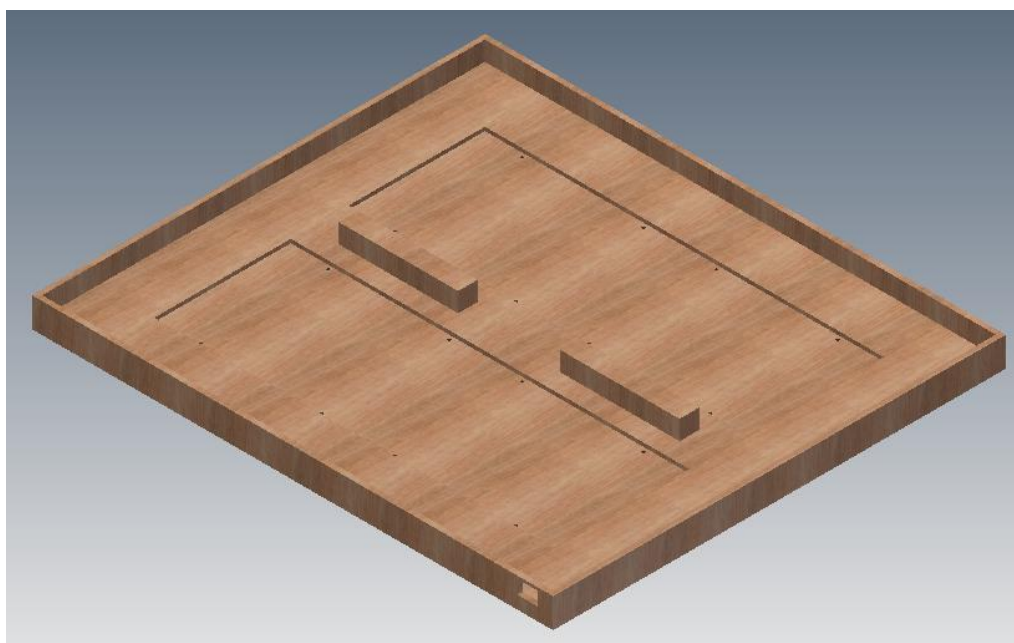


Figura 5.2 Diseño de la Base.

5.2.2 Tapa

La cara superior de la tapa está al mismo nivel de las superficies de las plataformas, al igual que la cara superior de los cajones (Ver Figura 5.4). Para el diseño de la tapa se tuvo en consideración la opción de poder cambiar el lugar las plataformas en la misma zona de anclaje. Esto se debe a que la plataforma de fuerza correspondiente al pie derecho debe estar delante de la izquierda cuando la voleibolista posee una pierna derecha dominante. Del mismo modo, si posee una pierna izquierda dominante, la plataforma izquierda debe estar delante. En la cara inferior de la tapa (Ver Figura 5.4), se ha colocado topes para evitar deformaciones o roturas de esta (Ver ANEXO E:).

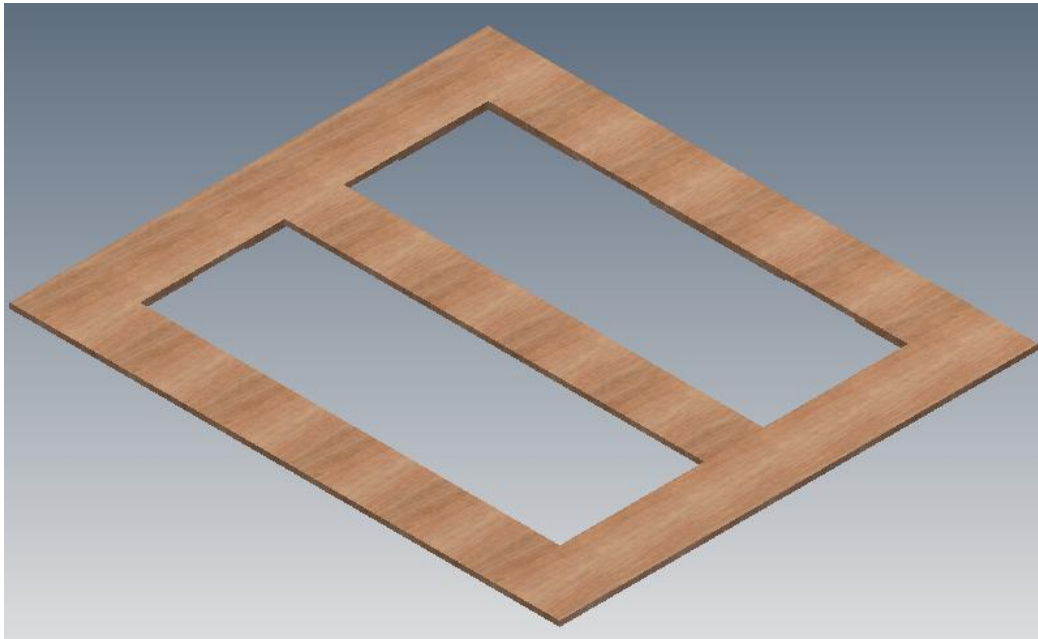


Figura 5.3 Diseño de la Tapa - Cara superior.

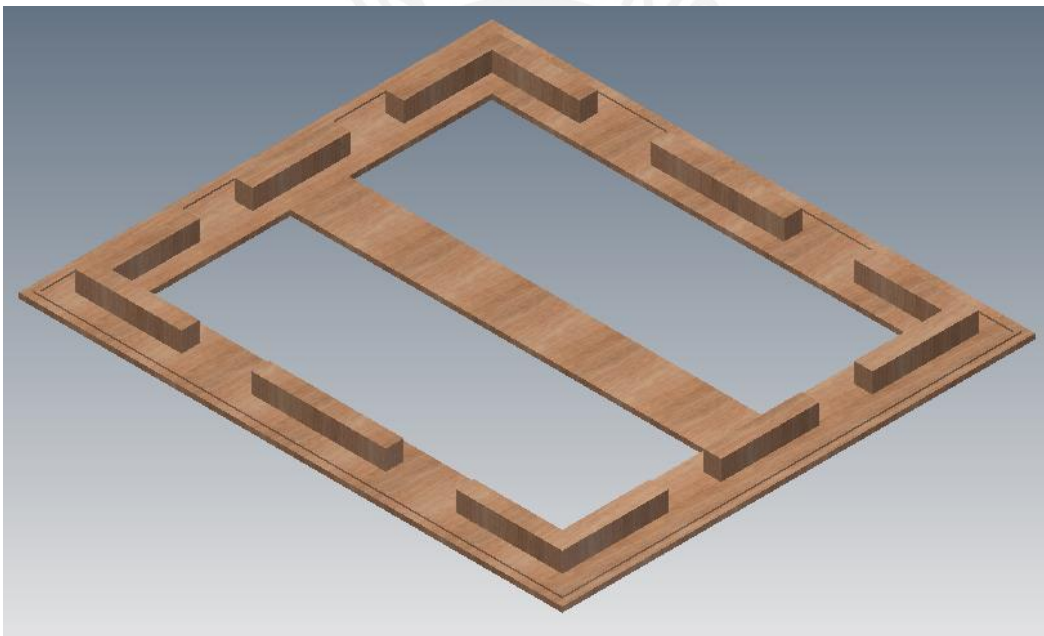


Figura 5.4 Diseño de la Tapa – Cara inferior.

5.2.3 Cajón

Los cajones son colocados en los espacios vacíos que aparecen en la base cuando se pone la tapa encima de esta (Ver Figura 5.5 y Figura 5.6). Además, la cara superior de estos debe estar al nivel de la superficie superior de las plataformas. Ya que el cajón posee un área grande de posible contacto, se ha colocado una nervadura (Ver Figura 5.7) para una mayor rigidez y evitar su deformación o fractura con el uso. Esta nervadura es unida a la cara inferior del cajón con tornillos auto perforantes (Ver ANEXO K:).



Figura 5.5 Diseño del Cajón – Cara superior.



Figura 5.6 Diseño del Cajón – Cara inferior.

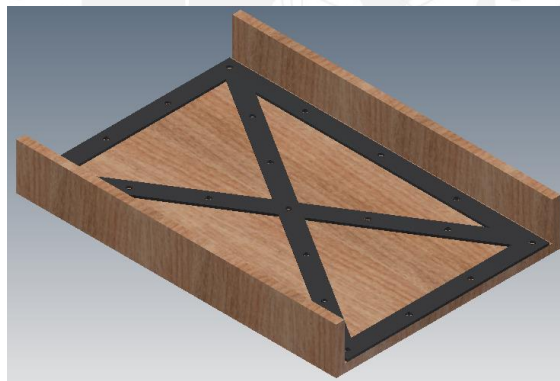


Figura 5.7 Nervadura del cajón.

5.3 Sistema electrónico

La parte electrónica del sistema integrado empieza con la alimentación eléctrica de las plataformas de fuerzas, esto se da con la ayuda de un adaptador conectado a un transformador 220V – 220V, el transformador sirve como sistema de aislamiento para la seguridad eléctrica de los equipos. La señal será modificada por un acondicionador digital de señal OPT, este irá conectado por un cable serial 232 a una plataforma de fuerza que trabaja a base de galgas extensiométricas. El acondicionador de señal mandará la data capturada durante la prueba a la computadora a través de un cable USB para ser procesada y finalmente presentada al usuario.

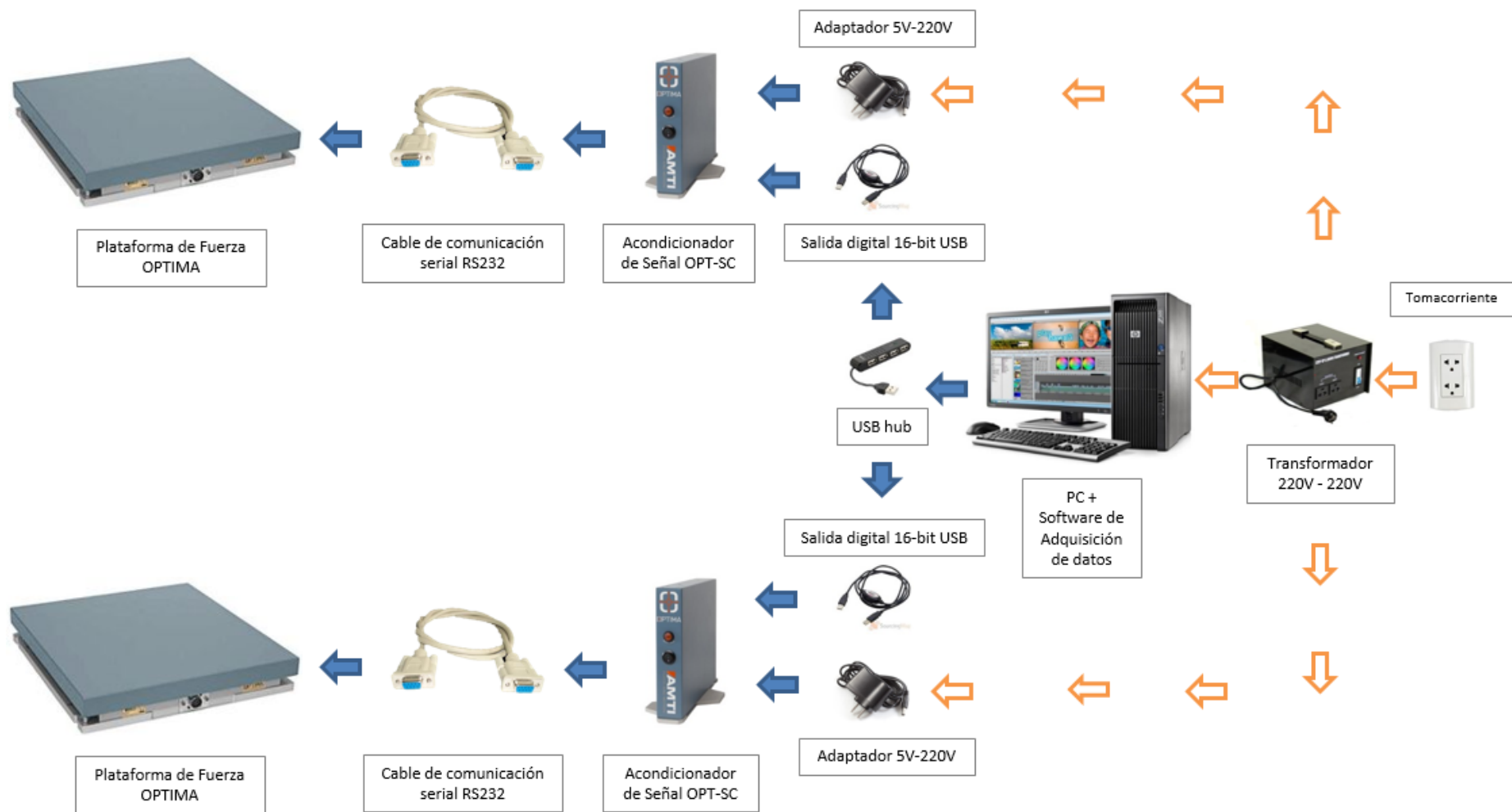


Figura 5.8 Diagrama de conexiones del sistema integrado

Todo el sistema electrónico del sistema integrado tiene un consumo aproximadamente de 115W (Ver Tabla 5.1), para esto se estimó el consumo que se obtiene del acondicionador de señal junto a las plataformas de fuerzas durante las pruebas (Ver ANEXO M). Además, se estimó la potencia generada por la computadora de escritorio y transformador que se utilizó en las pruebas.

Tabla 5.1 Consumo del sistema integrado

Equipo	Consumo
Plataforma de fuerza modular AMTI BP400600	3 W
Acondicionador de señal OPT-SC	
Computadora de escritorio DELL L OPTIPLEX Core i7	100 W
Transformador monofásico HPC 220V-220V	12W

5.3.1 Energización de plataformas

El acondicionador de señal se conecta a la plataforma de fuerza por un cable serial para la adquisición de las fuerzas de reacción con el suelo en los 3 ejes coordenados, así también poder energizar a esta. De esta forma, para cada una de las tres fuerzas y las tres componentes de momento que se miden, el acondicionador suministra una tensión de excitación al conjunto de puentes de galgas extensiométricas que se encuentran dentro de la plataforma de fuerza [27, 38].

5.3.2 Aislamiento eléctrico

Las plataformas de fuerzas cuentan con un sistema de puesta a tierra por seguridad del usuario o la persona que se encuentre parada en la superficie de esta-este sistema es un cable a tierra que luego debe ser conectado con el secundario del transformador 220V-220V.

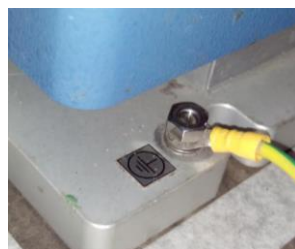


Figura 5.9 Puesta a tierra de las plataformas.

5.3.3 Calibración de plataformas

El acondicionamiento de señal digital también cuenta con un circuito calibrador por hardware de puesta a cero, el cual está conectado a un botón “AUTO ZERO” que al presionarlo, este circuito se activa y calibra las galgas extensiométricas, las cuales se encuentran en las plataformas [38].

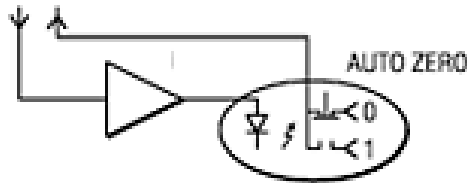


Figura 5.10 Diagrama eléctrico del calibrador [38].

5.3.4 Adquisición de fuerzas

La plataforma de fuerza incluye unos transductores de fuerzas o galgas extensiométricas que permiten medir las tres componentes de fuerzas y momentos cuando una persona está en contacto con la plataforma. Ya que estos sensores pueden detectar las mínimas deformaciones que se presenta en la estructura donde ha sido adherida.

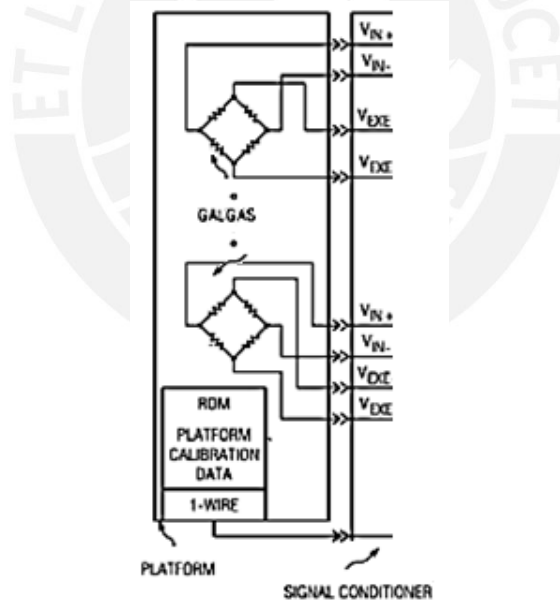


Figura 5.11 Diagrama eléctrico de la adquisición de fuerzas [38].

5.3.5 Amplificación y acondicionamiento de señal

La señal de salida resultante es una tensión baja que es proporcional a la componente de la carga mecánica aplicada. Esta salida puede ser muestreada por el acondicionador digital y proporcionar flujos de datos digitales y/o analógicos para la computadora conectada.

5.4 Sistema de control y/o de procesamiento

El sistema de control y/o de procesamiento está conformado por los softwares que intervienen en todo el sistema como el GEN5, NetForce, BioAnalysis. Junto con la información obtenida de estos dos últimos softwares y el Visual Studio se procederá a calcular los parámetros dinámicos propios de los movimientos de los miembros inferiores con la ayuda de unas ecuaciones físicas (primera Ley de Newton, potencia mecánica e impulso). Finalmente, estos parámetros serán presentados al usuario por una interfaz creada también en Visual Studio.

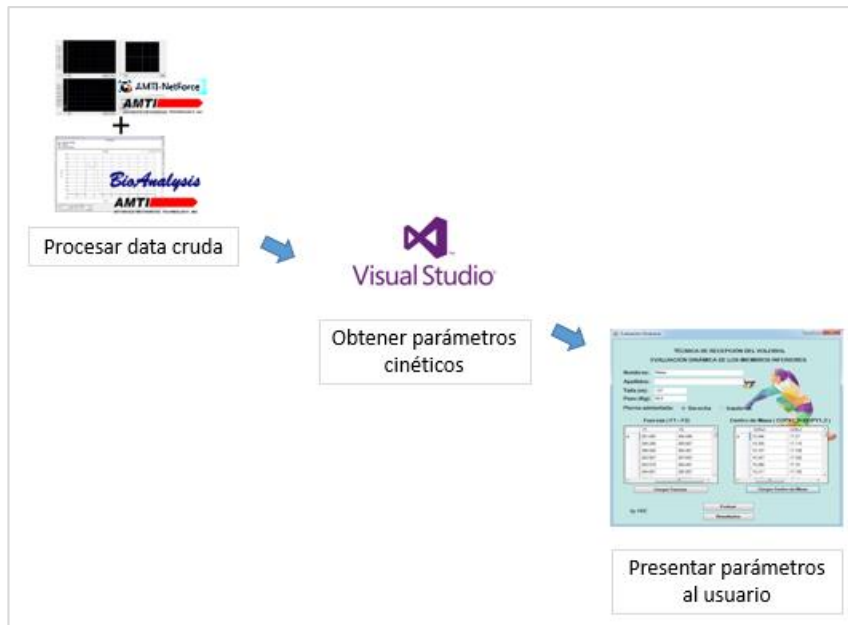


Figura 5.12 Softwares del sistema integrado.

5.4.1 Procesamiento de data cruda

Previo a la adquisición de la data, se debe realizar la detección de las plataformas de fuerzas por la computadora, esta acción es ejecutada por el software GEN5. Luego que ambas plataformas sean reconocidas por el computador, se puede proceder a registrar las pruebas para obtener la data requerida.

Durante el registro de datos se utiliza el software especializado que lleva el nombre de NetForce. Por último, el software encargado de procesar información registrada es el Bionalysis, el cual entrega la data requerida, fuerzas de reacción y el centro de presiones de ambos pies.

5.4.2 Obtención de parámetros cinéticos

Se usó un ejecutable programado en Visual Studio para poder obtener con rapidez los parámetros requeridos en la evaluación dinámica de los miembros inferiores durante la ejecución de la técnica de recepción básica baja tales como desplazamiento del centro de gravedad, velocidad, potencia e impulso presente en los pies.

Para el cálculo de estos parámetro se ha aplicado el concepto de Biomecánica, haciendo uso de algunas leyes mecánicas teniendo como datos de entrada las fuerzas externas

(fuerzas de reacción con el suelo) provocadas en el desarrollo de la técnica y el centro de presiones en el pie izquierdo y derecho.

5.4.3 Presentación de parámetros al usuario

Para la presentación de los parámetros dinámicos se ha realizado una interfaz en Visual Studio con el objetivo que el usuario tenga una mejor comprensión y visualización de los resultados obtenidos al evaluar la técnica de recepción de las voleibolistas calificadas. En el cual se deberá cargar las hojas de cálculo que se obtienen de la data entregada por el programa BioAnalysis, tanto como fuerzas y centro de presiones de ambos pies que se obtienen en cada prueba.

5.4.4 Diagramas de flujos

Se presenta los diagramas de flujos en los que se describe el procedimiento que se debe seguir para la evaluación dinámica de la técnica de recepción.

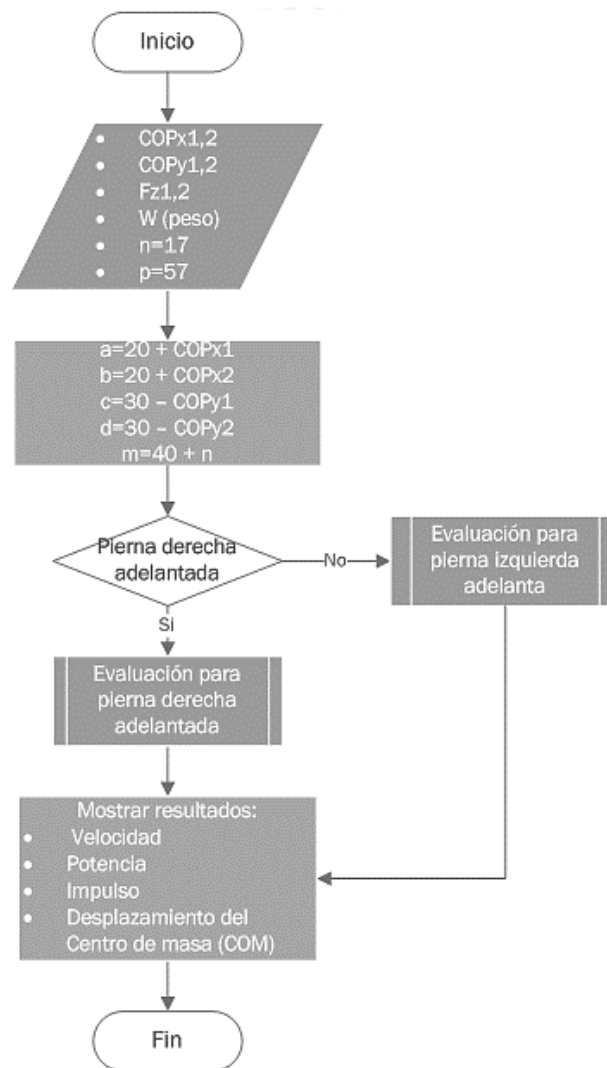


Figura 5.13 Diagrama del flujo para la evaluación dinámica.

CAPÍTULO 6: PRUEBAS Y EVALUACIÓN

En este capítulo, se describirá la metodología usada para la adquisición de datos durante la técnica de recepción básica baja utilizando la configuración óptima de las plataformas de fuerzas, obtenida anteriormente. Para la presente tesis, las pruebas se realizaron en el Laboratorio LIBRA de la PUCP con tres sujetos de prueba, las cuales fueron tres voleibolistas pertenecientes a la selección de voleibol de la PUCP. Cada deportista realizó 6 veces la prueba con 3 segundos de descanso entre cada una y se presenta en este trabajo la mejor representación del desplazamiento del centro de gravedad como resultado. Además, debido al corto tiempo se tuvieron algunas limitaciones para realizar las pruebas como ambiente reducido, pequeño número de sujetos de pruebas y la implementación de la base portátil.

6.1 Protocolo de pruebas para la adquisición de fuerzas de reacción durante la técnica de recepción

Para la obtención de las fuerzas de reacción con el suelo se siguió un protocolo en cada prueba realizada, este describe puntos importantes a considerar antes, durante y luego de cada prueba. Estas consideraciones serán explicadas a continuación.

6.1.1 Sujetos de prueba

En este caso los sujetos de prueba o voleibolistas calificadas, deberán tener características antropométricas promedio como peso y tamaño de una jugadora de la selección juvenil de voleibol peruana para obtener datos cerca de lo esperado. Además, en este caso los sujetos no deberán presentar ninguna lesión, enfermedad o tener en su historial alguna cirugía a los miembros inferiores. En cuanto a vestimenta, deberán usar zapatillas deportivas, vestir ropa ligera y cómoda que no les impida realizar la prueba.

6.1.2 Ambiente

Las pruebas tienen que ser realizadas en un ambiente despejado y amplio de aproximadamente $4 \times 5 \text{ m}^2$ donde el área asignada para ejecutar la técnica es de $2 \times 2 \text{ m}^2$ (Ver Figura 6.1). Además, el piso no debe contar con alguna inclinación para poder obtener de forma correcta las fuerzas de reacción con el sistema de evaluación dinámico.

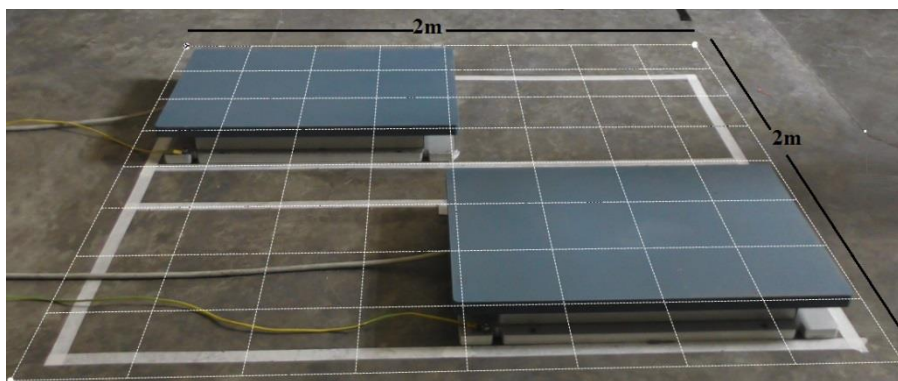


Figura 6.1 Área asignada para la ejecución de la técnica de recepción.

6.1.3 Equipo

Los equipos deben estar colocados en su base portátil para las pruebas, además se debe tener en cuenta las siguientes instrucciones para su puesta en marcha y el uso correcto de las plataformas de fuerzas AMTI.

- **Puesta en marcha**

Para hacer uso de las plataformas de fuerzas en las pruebas, se conectan las plataformas y los amplificadores con la ayuda de cables seriales RS232 de 6 canales. Luego, se procede a conectar los amplificadores a la computadora a través de cables USB. Previamente, los amplificadores se energizan con una conexión a una toma de corriente de 220V contando con una puesta a tierra segura en el Laboratorio LIBRA. Finalmente, se enciende los amplificadores con los switch on/off que se encuentran en la partera delantera de estos.

- **Operación**

Primero, se debe ingresar al software GEN5 para el reconocimiento de las plataformas por la computadora a la que ha sido conectada. Si no hay problema alguno, se procede a abrir el software AMTI- NetForce para la adquisición de datos, en el cual es ingresado el tiempo y la tasa de muestreo requerida para la prueba.

- **Tiempo y tasa de muestreo**

Debido a que el tiempo de duración de la prueba es de aproximadamente 8 segundos (donde se ha considerado el tiempo de simulación de la fase 1 de la técnica, el tiempo de duración propio de la técnica de recepción básica y el tiempo de recuperación luego de la fase 4 de la técnica), se ingresará en el software AMTINetforce el valor de 10 segundos para asegurar los 8 segundos de prueba. En el caso de la tasa de muestreo, se deberá elegir la mayor para obtener la mayor cantidad de data y a la vez, la mejor resolución en las gráficas,

6.1.4 Procedimiento de la prueba

Para la toma de datos en cada prueba se consideró los siguientes pasos:

- El sujeto de prueba debe subirse a la base portátil y colocarse en la posición inicial que se le indica para la prueba (Ver Figura 6.2).
- En el software AMTI-NetForce se ingresa un tiempo de 10 segundos y la tasa de muestreo más alta de 1200, luego se empieza con la toma de data.
- El sujeto de prueba debe esperar 2 segundos antes de ejecutar la técnica de recepción (Ver Figura 6.3) como simulación de la fase 1 de la técnica, al cabo de estos segundos, otra persona lanzará un balón utilizando la técnica de servicio en dirección a la voleibolista.
- Cuando el sujeto de prueba concluye con la simulación de las fases 2 y 3 de la técnica, se debe esperar 2 segundos antes de terminar con la toma de datos, ya que estos segundos simularán la última fase de la técnica de recepción.



Figura 6.2 Posición inicial de prueba



Figura 6.3 Ejecución de la técnica de recepción.

6.2 Evaluación dinámica de la técnica de recepción

Para la evaluación dinámica de la técnica de recepción básica baja se ha aplicado el concepto de biomecánica con el uso de algunas leyes mecánicas, ya que durante el desarrollo de la técnica en los pies se presentan algunos parámetros cinéticos y cinemáticos.

En el presente estudio, se tiene como datos de entrada las fuerzas de reacción con el suelo, y el centro de presiones en el pie izquierdo y derecho durante el desarrollo de la recepción. Considerando esta información, se presentan los parámetros que han sido considerados para la evaluación.

6.2.1 Centro de Gravedad en 2D

El cálculo del centro de gravedad (X_G , Y_G) se partirá de los DCL's que se mostrarán a continuación donde se podrá notar que la componente Y del centro de gravedad variará por la pierna dominante que posea la voleibolista.

- **Para XG:**

Se analiza en el plano frontal con una sumatoria de momentos con respecto al centro de masa. Además, es no varía el cálculo por la pierna dominante de la deportista a evaluar.

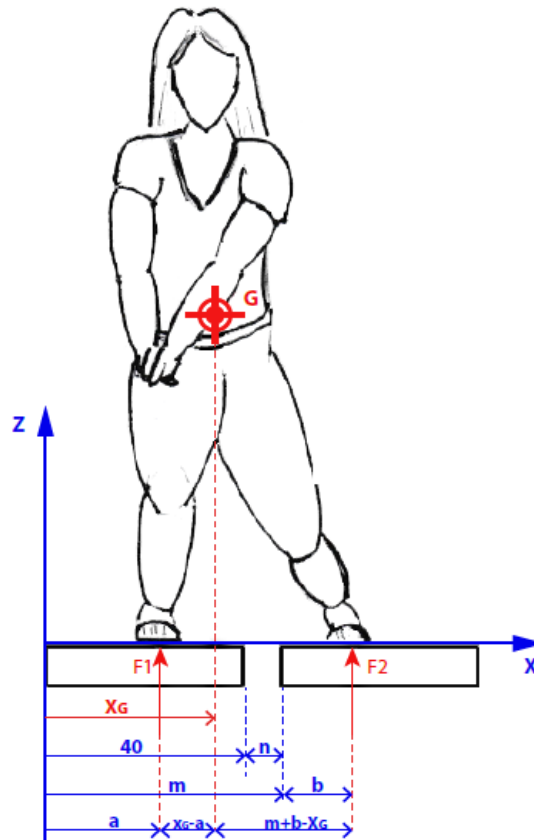


Figura 6.4 DCL de la voleibolista en las plataformas– Plano Frontal.

Datos:

- x: Número de plataforma (1 o 2)
- Fx: Fuerza de reacción en el eje z de la plataforma x
- a,: COPX (Plataforma 1) [cm]
- b: COPX (Plataforma 2) [cm]
- c: COPY (Plataforma 1) [cm]
- d: COPY (Plataforma 2) [cm]
- n: Separación entre ambas plataformas [cm]
- p: Desfase entre ambas plataformas [cm]
- m: 40 +n [cm]

Entonces:

$$\sum M_G:$$

$$F_1 \cdot (X_G - a) = F_2 \cdot (m + b - X_G)$$

$$X_G = \frac{a \cdot F_1 + (m + b) \cdot F_2}{(F_1 + F_2)}$$

- **Para YG:**

En este caso el cálculo varía según la pierna dominante, por lo cual se tendrá dos casos. En ambos se realiza una sumatoria de momentos con respecto al centro de masa en el plano sagital.

Caso 1 – Pierna derecha dominante

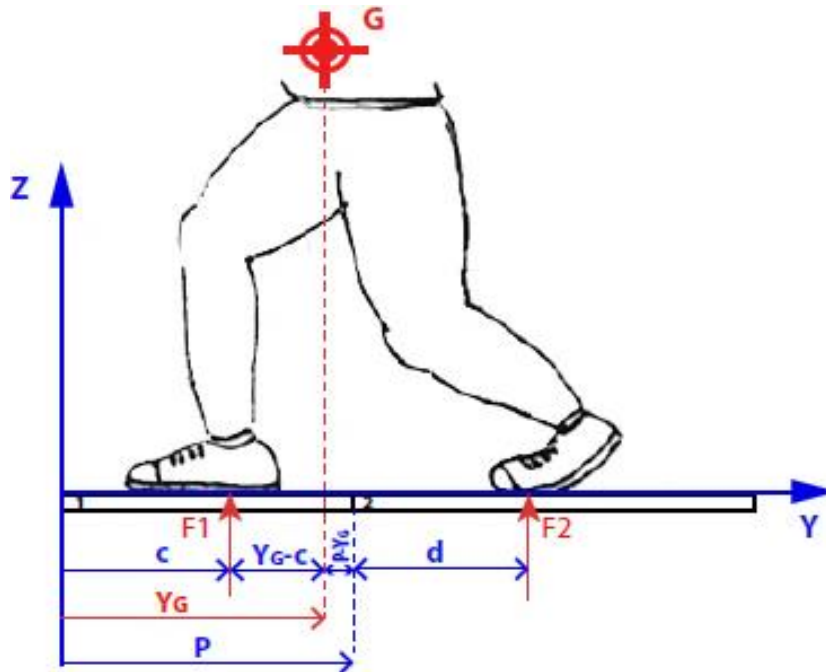


Figura 6.5 DCL de la voleibolista en las plataformas con pierna dominante derecha– Plano Sagital.

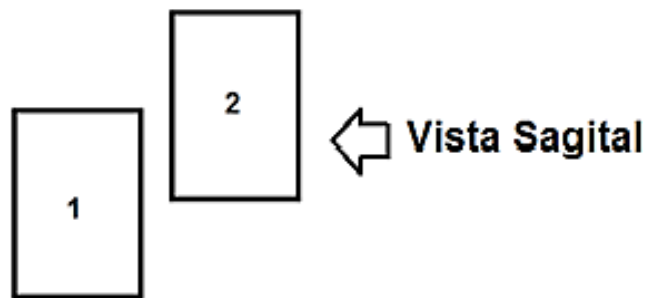


Figura 6.6 Configuración de las plataformas para pierna dominante derecha.

Entonces:

$$\sum M_G:$$

$$F_1 \cdot (Y_G - c) = F_2 \cdot (p + d - Y_G)$$

$$Y_G = \frac{c \cdot F_1 + (p + d) \cdot F_2}{(F_1 + F_2)}$$

Caso 2 – Pierna izquierda dominante

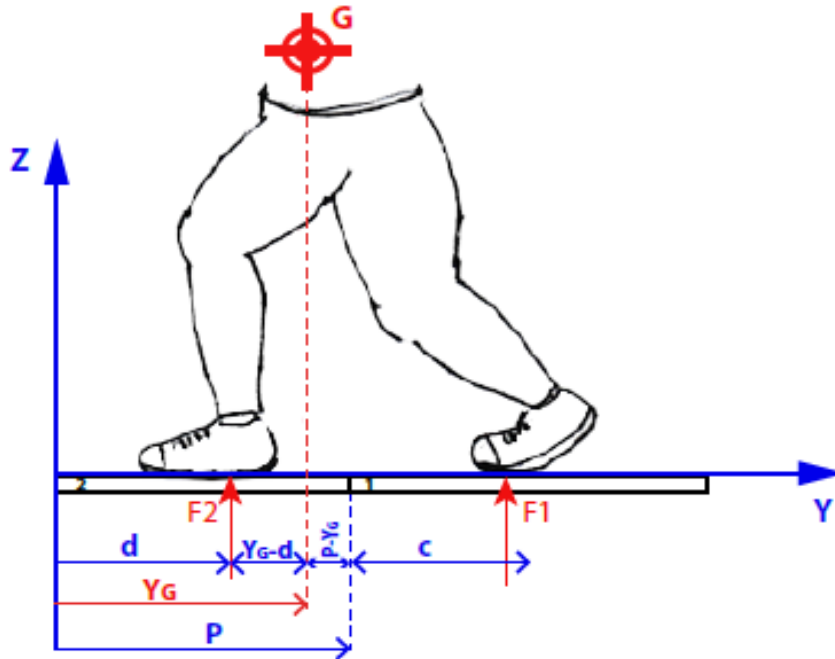


Figura 6.7 DCL de la voleibolista en las plataformas con pierna dominante izquierda– Plano Sagital.



Figura 6.8 Configuración de las plataformas para pierna dominante izquierda.

Entonces:

$$\sum M_G:$$

$$F_2 \cdot (c + p - Y_G) = F_1 \cdot (Y_G - d)$$

$$Y_G = \frac{(c + p) \cdot F_2 + d \cdot F_1}{(F_1 + F_2)}$$

6.2.2 Velocidad

Para hallar la velocidad de los pies en cada instante del tiempo de la prueba se requiere primero calcular la fuerza neta en ambos pies, por lo que se realizará un cálculo previo

para obtener este valor con la ayuda de un DCL presentado previamente. Partiendo de la siguiente ecuación:

$$V_j = \sum_{i=1}^j \frac{F_{NETAx_i}}{W_x/g} \cdot dT$$

Donde:

- $V_j =$ Velocidad en el tiempo j-enésimo
- $F_{NETAx} =$ Fuerza neta en la plataforma 1 o 2
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Para aplicar la ecuación anterior se requiere primero hallar:

$$F_{NETAx} = F_x - W_x$$

Primero, para obtener W_x se analizó el peso durante la primera fase de voleibol:

$$\sum F_Z: \quad W_1 + W_2 = W_T \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum M_G: \quad W_1 \cdot (X_G - a) = W_2 \cdot (m + b - X_G) \dots\dots(2)$$

Obteniendo, con (1) y (2):

$$W_1 = \frac{(m + b - X_G) \cdot W_T}{(m + b - a)} \quad W_2 = \frac{(X_G - a) \cdot W_T}{(m + b - a)}$$

Teniendo estos dos valores se puede obtener la fuerza neta para poder reemplazar y calcular la velocidad con la ecuación mostrada anteriormente.

6.2.3 Potencia

Para el cálculo de la potencia se necesita el valor de la velocidad y la fuerza en el eje z de cada producida en cada plataforma.

$$P_j = F_j \cdot V_j$$

6.2.4 Impulso

En el caso del impulso se necesita del valor del valor de la fuerza en el eje z (Fz).

$$J_j = \sum_{i=1}^j F_j \cdot dT$$

CAPÍTULO 7: RESULTADOS

En este apartado, se analizan los resultados obtenidos tras la evaluación dinámica a los miembros inferiores durante la técnica de recepción básica baja de tres voleibolistas calificadas, las cuales participaron en las pruebas que fueron realizadas bajo las consideraciones mencionadas en el protocolo de pruebas explicado en el capítulo anterior.

7.1 Análisis de datos recolectados

Se analizó el comportamiento de cada curva de los parámetros promedio obtenidos de las 3 voleibolistas durante las pruebas.

7.1.1 Repetitividad

Al evaluar el movimiento de los pies durante la técnica de recepción básica baja de, se ha determinado algunas curvas características de los distintos parámetros, dichas curvas definen lo que sería una correcta ejecución del gesto técnico de recepción de voleibol. Estas gráficas siguen una secuencia en el tiempo, la cual es: de 0 a 4 segundos, la voleibolista se mantuvo en la fase 1- posición básica (Ver Figura 7.1.a); de 4 a 4.4, fase 2- antes del impacto (Ver Figura 7.1.b); de 4.7 a 5, fase 3- durante el impacto (Ver Figura 7.1.c); de 5 a 5.5, fase 4 – después del impacto(Ver Figura 7.1.d); y de 5.5 a 7, descanso. Estas gráficas se presentarán a continuación.

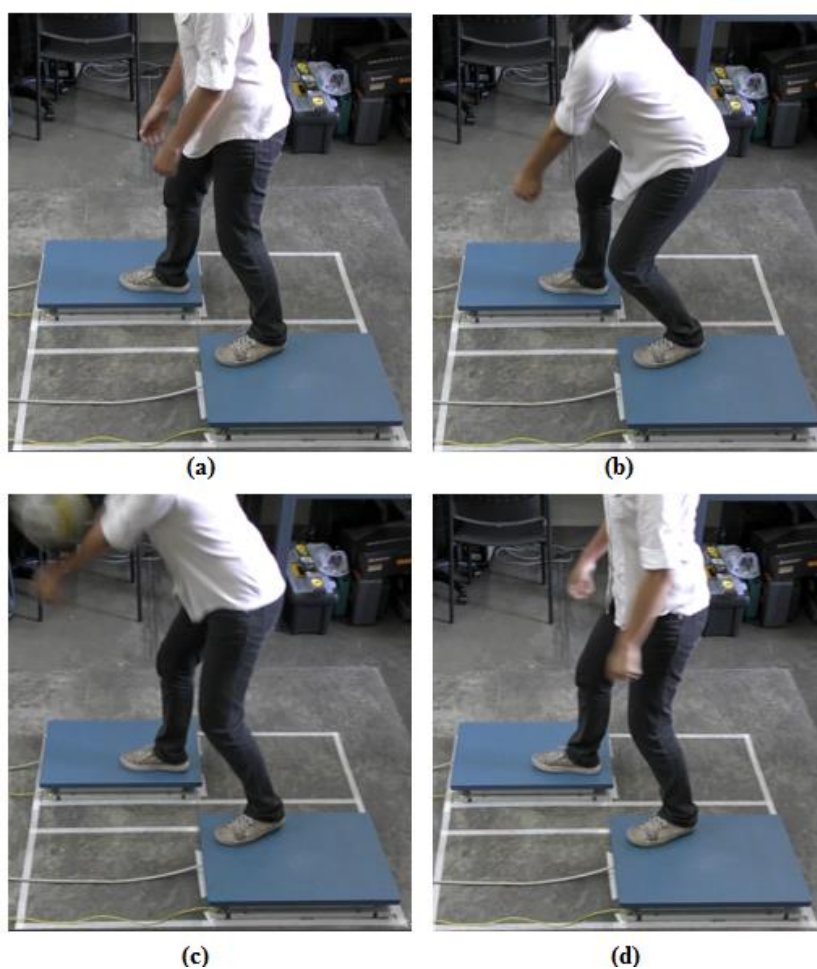


Figura 7.1 Fases de la técnica de recepción básica baja en el tiempo (a) Fase 1: posición inicial (b) Fase2: antes del impacto (c) Fase 3: Durante el impacto (d) Fase 4: después del impacto.

- **Fuerzas de reacción con el suelo**

Al comparar ambas gráficas (Ver Figura 7.1 y Ver Figura 7.1), se puede observar que la espera del balón se realiza apoyando más el peso con el pie izquierdo, aunque esto dependerá que pie este adelantado durante la recepción. Además, antes del impacto con el balón todo el cuerpo baja para luego alcanzar la máxima magnitud en ambos pies durante el impacto con el balón. Así también, podemos apreciar que al impacto primero se logra una fuerza máxima en el pie izquierdo y luego en el derecho, lo cual indica que al inicio de la fase 3 hay un mayor apoyo en el pie izquierdo que al terminar esta fase el apoyo es transferido al pie derecho durante el envío del balón hacia su objetivo. Luego de esta etapa se puede apreciar una variación en las fuerzas debido a que la voleibolista busca volver a su un estado estable.

Pie derecho

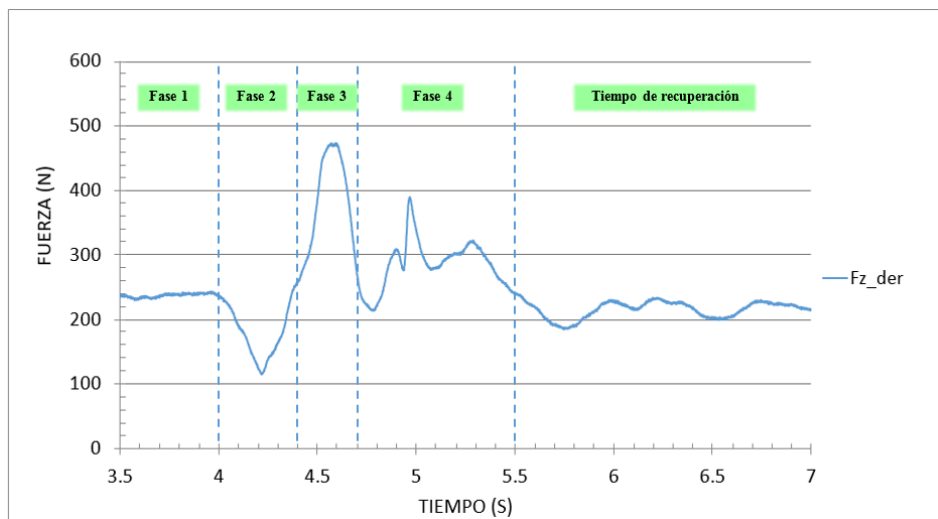


Figura 7.2 Fuerza de reacción pie derecho con el piso en el eje Z vs Tiempo

Pie izquierdo

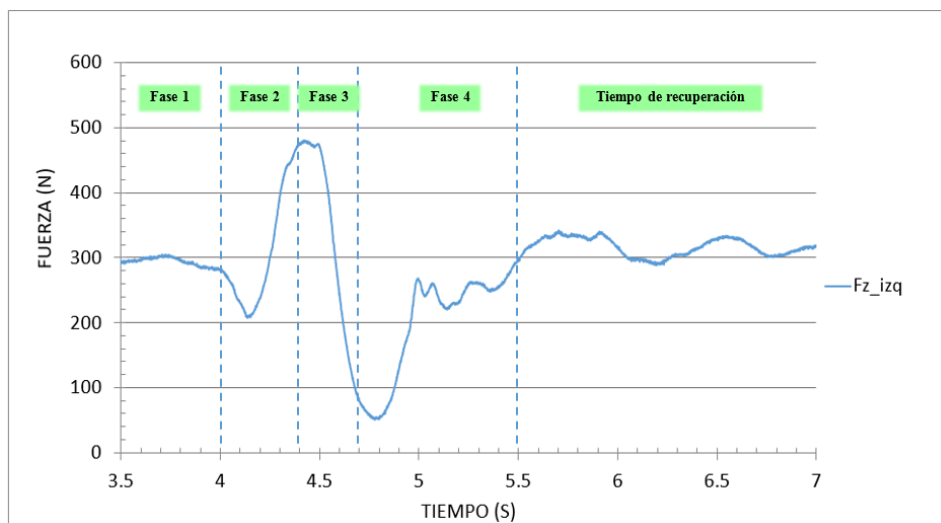


Figura 7.3 Fuerza de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.

- **Velocidad**

Se puede observar (Ver Figura 7.1 y Figura 7.1) que la velocidad máxima en el pie izquierdo se da al terminar la fase de impacto (fase 3) y luego, el pie derecho al inicio de la fase luego del impacto (fase 4). Esto es debido a la transferencia del peso para el envío del balón hacia su objetivo.

Pie derecho

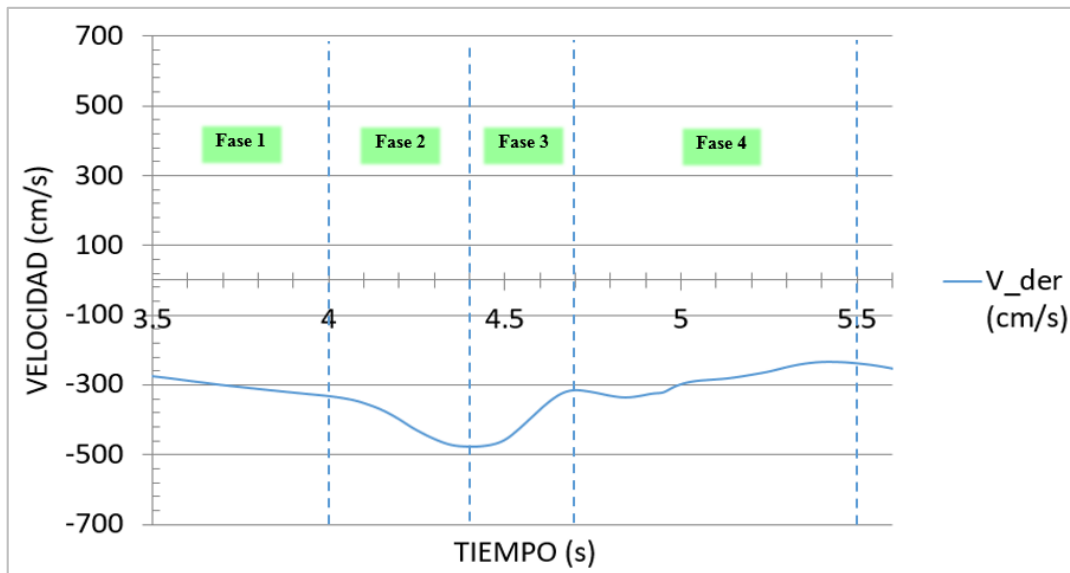


Figura 7.4 Velocidad de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo.

Pie izquierdo

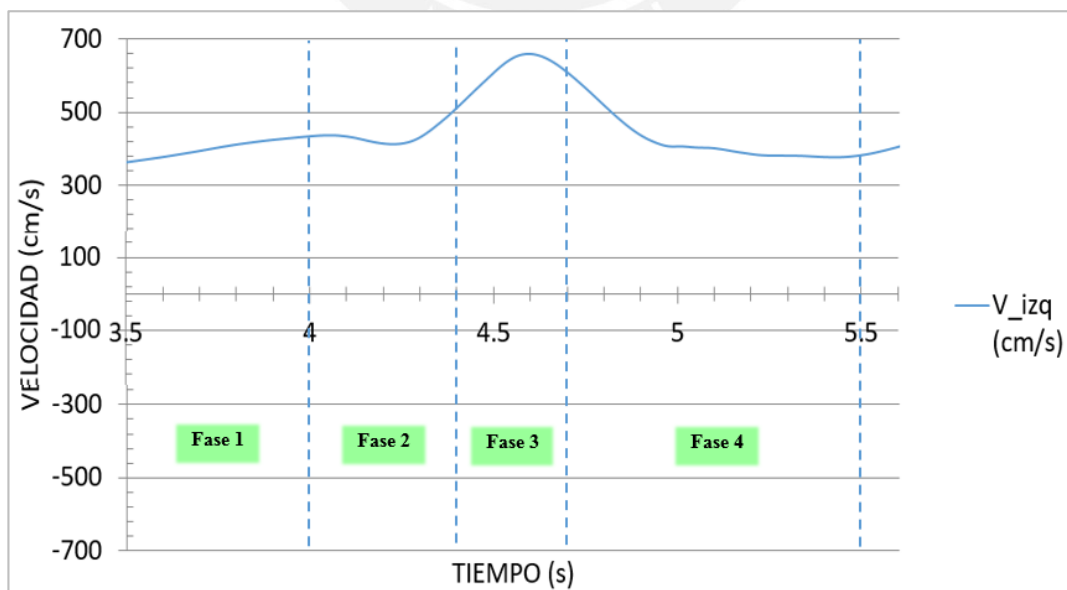


Figura 7.5 Velocidad de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.

- **Potencia**

En ambas gráficas (ver Figura 7.1 y Figura 7.1) se puede comparar que la potencia realizada en el pie izquierdo es mayor que la de la derecha, debido a que existe un mayor apoyo en el pie izquierdo durante el impacto. Así también, observamos que al terminar esta fase de impacto (fase 3) la potencia en el pie derecho aumenta, ya que al finalizar esta fase el apoyo en el pie derecho aumenta para dirigir el balón hacia el objetivo.

Pie derecho

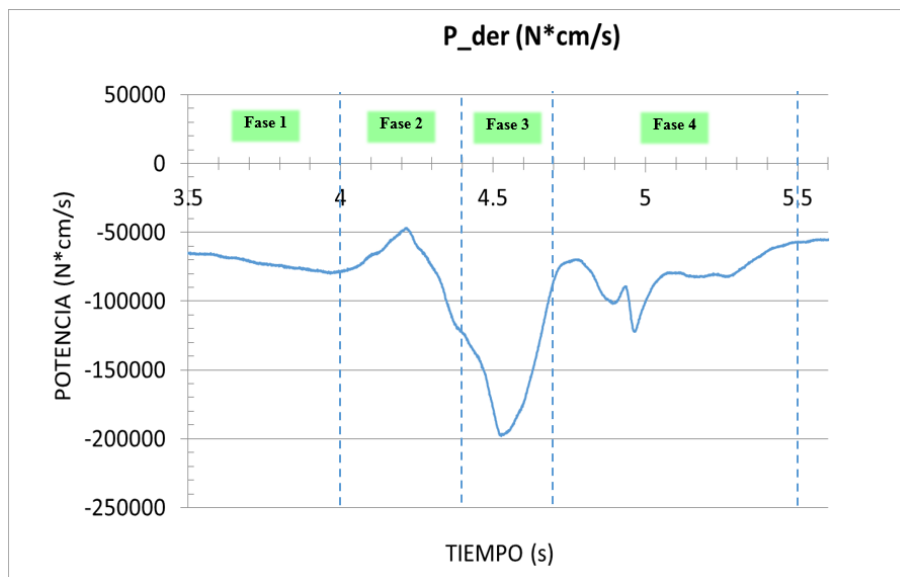


Figura 7.6 Potencia de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo.

Pie izquierdo

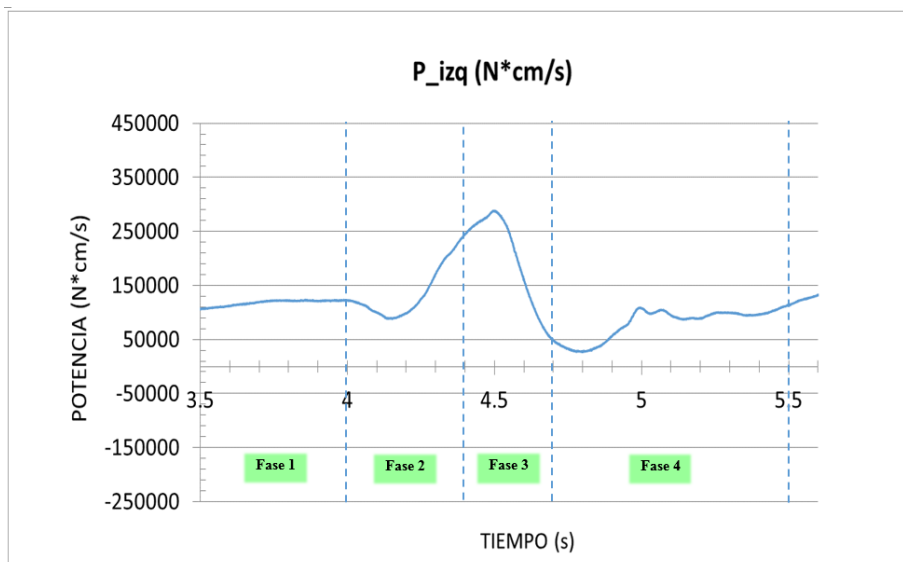


Figura 7.7 Potencia de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.

- **Impulso**

Al observar ambas gráficas (ver Figura 7.1 y Figura 7.1) se puede notar que el impulso máximo en el pie izquierdo se da en la fase del impacto (fase 3). Por otro lado, en el pie derecho, el impulso máximo se da al terminar esta fase. Este resultado, al igual que las gráficas presentadas anteriormente, comprueba que al terminar la fase de impacto para dirigir el balón hacia su objetivo existe un mayor impulso en el pie derecho.

Pie derecho

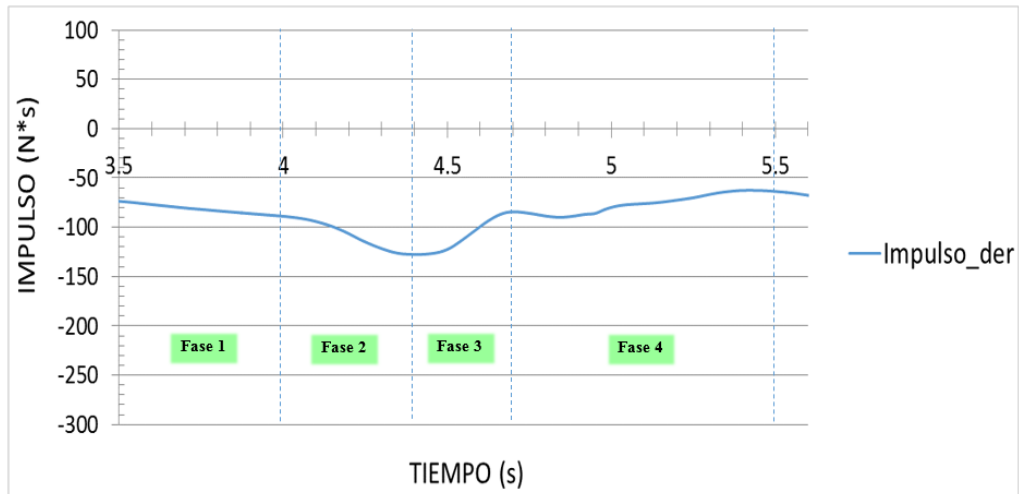


Figura 7.8 Impulso de reacción del pie derecho con el piso en el eje z vs Tiempo

Pie izquierdo

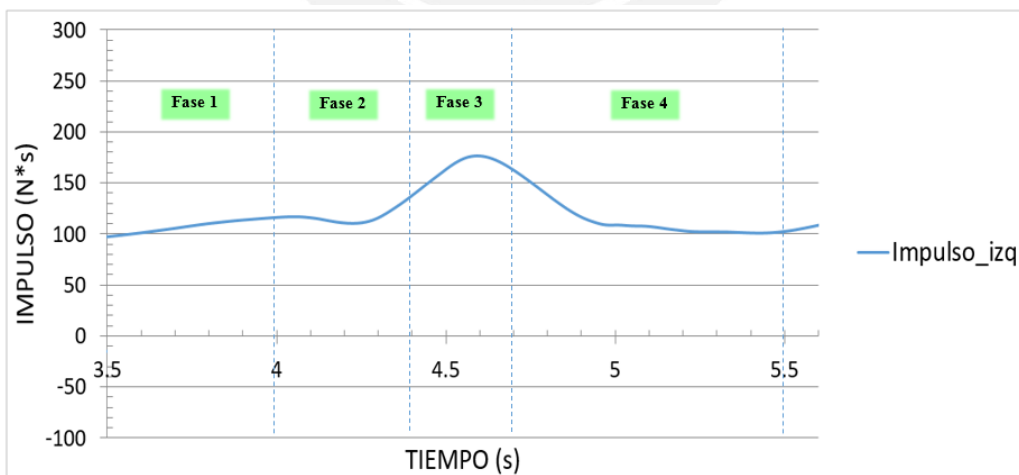


Figura 7.9 Impulso de reacción del pie izquierdo con el piso en el eje z vs Tiempo.

- **Centro de gravedad**

Se observa que para la recepción básica baja correcta el desplazamiento del centro de gravedad se comporta como una línea recta con un ángulo menor de 90°. A diferencia cuando se realiza un movimiento incorrecto o un gesto diferente al estudiado (Ver Figura 7.1).

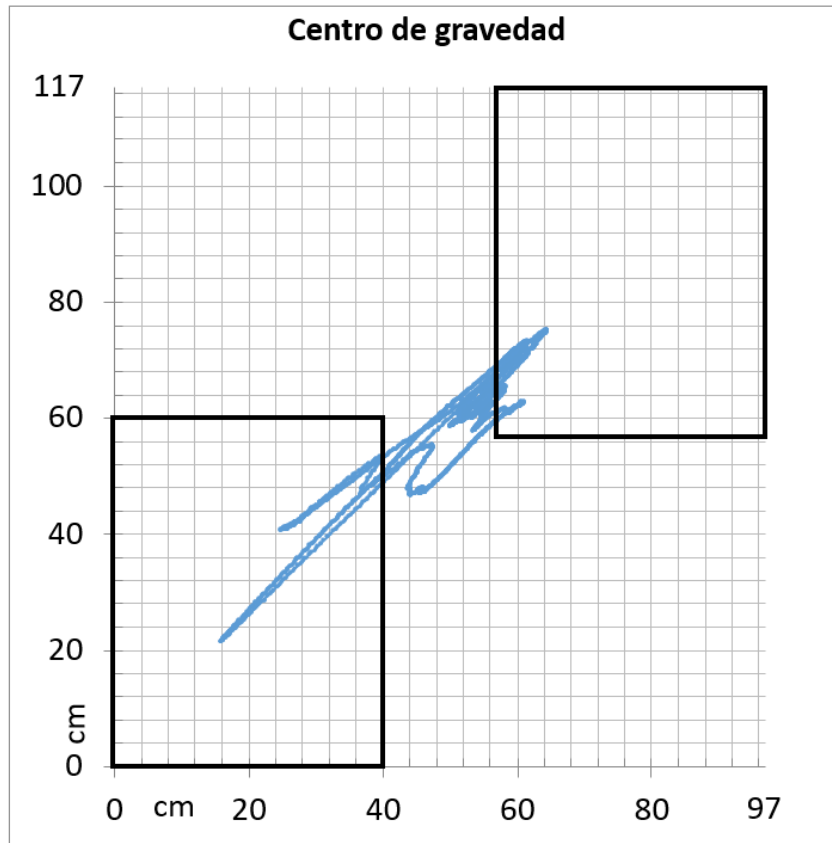


Figura 7.10 Desplazamiento del Centro de gravedad en el Tiempo en 2D.

7.1.2 Valores máximos de cada parámetro

Junto con las gráficas se calcularon el promedio, máximo y mínimo de cada parámetro mecánico con el propósito de calcular una media de estos valores y así obtener

Tabla 7.1 Valores promedios de los parámetros

Parámetro	Velocidad [m/s]		Potencia [N*m/s]		Impulso [N*s]	
	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
Pie	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
Promedio	-3.62	3.63	-875.69	1452.56	-0.97	1.34
Máximo	-233.88	745.39	-46785.20	288127.16	-62.57	199.42
Mínimo	-553.45	363.29	-197965.32	26599.36	-148.07	97.20

7.2 Presentación de resultados en una interfaz

Previamente, se dispuso una interfaz en Visual Studio para la presentación de los resultados. A continuación se muestra la interfaz donde se cargan las hojas de cálculo que se obtienen de la data cruda obtenida, tanto como fuerzas y centro de presiones de ambos pies que se obtienen en cada prueba de las voleibolistas calificadas.

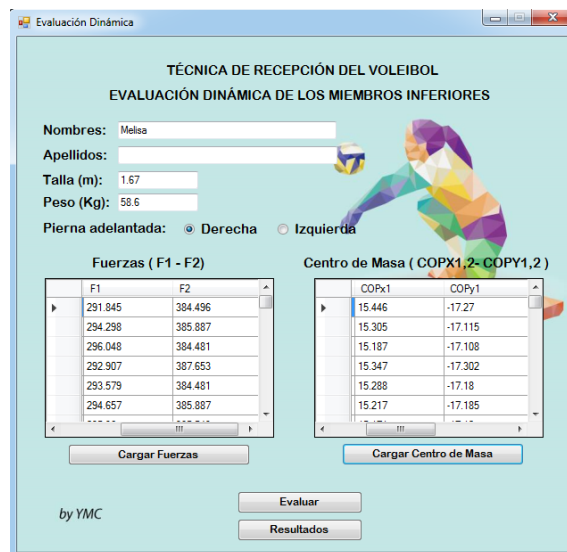


Figura 7.11 Interfaz de evaluación dinámica – Ventana de inicio

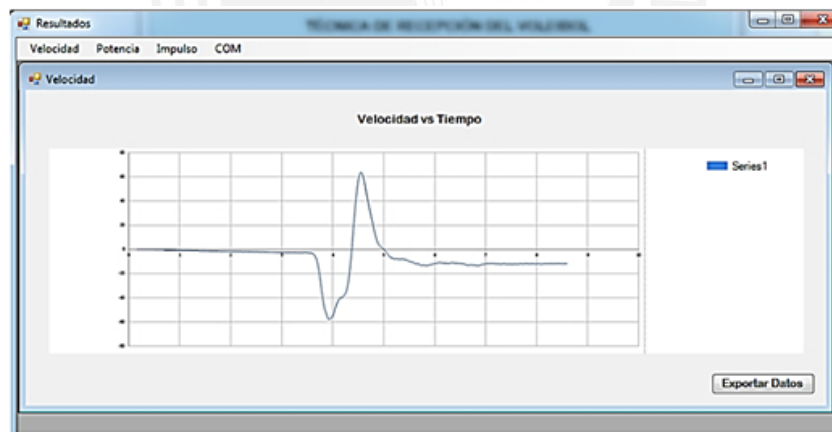


Figura 7.12 Interfaz de evaluación - Ventana de resultados

7.3 Costos del sistema del sistema de evaluación dinámica

A continuación, se presentan los costos referentes a la fabricación del sistema de evaluación dinámica desarrollado en la presente tesis. Para esto se ha dividido en tres partes: en la primera, se muestran los costos que conllevo la implementación electrónica del sistema; la segunda, se estimó la implementación de la base de madera, debido al corto tiempo del desarrollo de la tesis, por lo mismo las pruebas se realizaron sin esta; y la tercera parte se muestran los costos de diseño, en donde se estiman los costos de horas-hombre invertidos en la investigación del estado del arte, diseño conceptual, ingeniería

de diseño mecánico y eléctrico y programación del sistema de captura de movimiento implementado.

Tabla 8.1 Costo del sistema de evaluación

	Elemento	Cantidad	Precio unitario(s/.)	Precio Total (s/.)
Implementación electrónica	Plataforma de fuerza modular AMTI BP400600	2	16,380.00	32,760.00
	Acondicionador de señal OPT-SC	2		
	Cámara digital Panasonic HC-VX980	2	3,069.00	6,138.00
	Computadora de escritorio DELL L OPTIPLEX Core i7	1	3,500.00	3,500.00
	Transformador monofásico HPC 220V-220V	1	960.64	960.64
Implementación mecánica	Fabricación de base de madera	1	110	110
	Fabricación de la tapa	1	70	70
	Fabricación del cajón	2	40	80
	Fabricación del nervio del cajón	2	50	100
	Tornillo sin cabeza JIS B 1173	8	1	8
	Tuerca DIN 4161	8	0.5	4
	Tornillo autoaperdorante DIN ISO7049	23	0.3	6.9
Diseño	Estudio y diseño del sistema portátil	60	33.9	2034
	Desarrollo del programa	60	67.8	4068
Costo Total				49,839.54

Se puede observar que el costo de fabricación de una base de madera es mucho más rentable que el hecho de tener que realizar las modificaciones respectivas al espacio donde se realizarían las pruebas, ya que debido al modelo de las plataformas de fuerzas deben de estar ancladas durante la toma de data en el piso donde se apoyan. Además, al ser portátil la base, se puede realizar pruebas en canchas de voleibol normadas para una mejor simulación de la técnica de recepción.

CONCLUSIONES

En la presente tesis se logró diseñar e implementar un sistema solución para la evaluación dinámica a los miembros inferiores. Lo cual ha permitido tener las siguientes conclusiones:

Se ha verificado que es posible caracterizar biomecánicamente el movimiento realizado por los pies durante el desarrollo de la técnica de recepción básica baja con el uso de las plataformas de fuerzas y que si se realizan las pruebas con las condiciones propuestas, se podrán obtener resultados válidos para evaluar el rendimiento de las voleibolistas pertenecientes a la selección peruana juvenil de voleibol.

Así mismo, se ha comprobado el acompañamiento del cuerpo durante la ejecución de la técnica. Según lo observado esta acción consiste en que durante el impacto con el balón, el cuerpo sigue la trayectoria de este por un corto tiempo, proporcionándole un impulso hacia el blanco elegido por la voleibolista con una velocidad promedio de 3.62 m/s.

Por otro lado, con la evaluación realizada de la recepción se encontró un patrón del centro de gravedad que es representada casi linealmente con un ángulo menor de 90° , en el que se identifica el movimiento hacia adelante y atrás observado durante la ejecución de la técnica. También, la evaluación permite diferenciar las recepciones bien ejecutadas de las fallidas, pues al realizar otros gestos se observa que el patrón cambia notoriamente.

Por la parte económica, el sistema de evaluación es rentable ya que no se debe modificar la infraestructura del ambiente donde se realicen las pruebas, esto se debe a la portabilidad que aporta la implementación de la base portátil.

A nivel nacional, el sistema portátil de evaluación dinámica propuesto en el presente trabajo contribuye como punto de partida para los próximos estudios en cuanto a caracterización biomecánica en el campo deportivo.

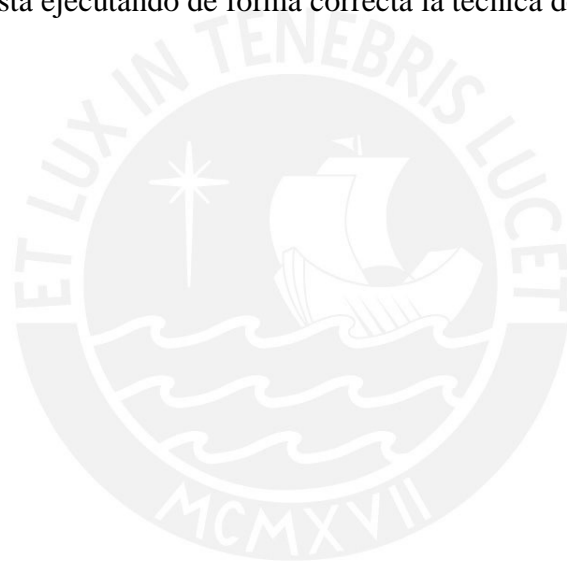
RECOMENDACIONES

Se recomienda verificar los resultados y conclusiones obtenidas en esta tesis con un número mayor de sujetos de pruebas que cumplan el perfil de las jugadoras de voleibol de elite, pues la ubicación de las plataformas se definió de acuerdo a ese perfil.

También, las pruebas que se realicen en el futuro deben realizarse con el sistema propuesto ya implementado, pues para las pruebas que se realizaron solo se contó con las plataformas, lo que limitó la ejecución de la prueba en cuanto a área de trabajo y que pudo tener un efecto de porcentaje de error mayor a lo esperado en los resultados.

Se recomienda realizar un proceso de calibración de todo el sistema de la plataforma portátil, tanto para plataformas sin sujeto de pruebas y con sujeto de pruebas.

Finalmente, se recomienda realizar las de pruebas con la ayuda y presencia de un entrenador de voleibol calificado de Nivel III para verificar de forma valida si la deportista a evaluar está ejecutando de forma correcta la técnica de recepción.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL MAULE, «CAMPEONES PARA LA REGIÓN DEL MAULE,» *UC DEL MAULE DONDE SE VIVE EL DEPORTE*, pp. 12-15, 2013.
- [2] C. Reyes Savón y G. Portuondo Bartelemei, «La capacidad de salto en el voleibol,» *Educación Física y Deportes*, nº 170, 2012.
- [3] Y. M. Duarte Camargo, R. P. Mengual Martinez y J. J. Orozco Murgas, «ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SALTO Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN JUGADORES DE VOLEIBOL DE LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER, CAMPUS VALLEDUPAR,» UNIVERSIDAD DE SANTANDER, Valledupar - Colombia, 2019.
- [4] W. S. Soares Leite, «Biomecânica aplicada ao esporte: contribuições, perspectivas e desafios,» *EFDeportes.com*, vol. 17, nº 170, 2012.
- [5] P. d. R. e. C. d. E. y. Salud, «Instituto de Investigaciones y Soluciones Biomecánicas,» 2014. [En línea]. Available: <http://g-se.com/es/org/ii-sb>. [Último acceso: 20 08 2016].
- [6] Latinoamérica Olímpica, «VENEZUELA: Biomecánica optimiza rendimiento del deporte,» *Latinoamérica Olímpica*, 24 julio 2008. [En línea]. Available: <http://latinoamericaolimpica.blogspot.pe/2008/07/venezuela-biomecnica-optimiza.html>. [Último acceso: 20 Setiembre 2016].
- [7] V. Hernández, «Coordinación Nacional de Biomecánica y Udesur se unen para potenciar el deporte de alta competencia,» UNIVERSIDAD DEPORTIVA DEL SUR, 27 Julio 2013. [En línea]. Available: coordinacion_nacional_de_biomecanica_y_udedur_se_unen_para_potenciar_el_deporte_de_alta_competencia. [Último acceso: 20 Setiembre 2016].
- [8] J. G. Hay, *The Biomechanics of Sports Techniques*, Prentice-Hall, 1993.
- [9] A. C. Amadio y J. C. Serrão, «A Biomecânica em Educação Física e Esporte,» *The biomechanics in physical education and sports*, vol. 25, pp. 15-24, 2011.
- [1] N. K. Marques Junior, «Biomecânica aplicada a locomoção e o salto do voleibol,» *efdeportes.com/ Revista Digital*, vol. 10, nº 77, pp. 1-16, 2004.
- [1] H. Toyoda, «Enseñanza de las Técnicas Individuales Básicas,» de *FIVB - Manual de entrenadores*, 2011, pp. 69-118.
- [1] American Volleyball Coaches Association, *Volleyball - Skills & Drills*, USA: Human Kinetics, 2] 2006.

- [1] J. Dearing, VOLLEYBALL Fundamentals - Sports Fundamentals Series, Human Kinetics, 3] 2003.
- [1] FIVB, «Women Volleyball Reception Technique,» fédération internationale de volleyball, 4] 2006. [En línea]. Available: <http://www.fivb.org/EN/Technical/eLibrary/>. [Último acceso: 18 Febrero 2016].
- [1] J. Medlej, «Human Anatomy Fundamentals: Flexibility and Joint Limitations,» envatotuts+, 5] 6 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://design.tutsplus.com/articles/human-anatomy-fundamentals-flexibility-and-joint-limitations--vector-25401>. [Último acceso: 17 Julio 2016].
- [1] M. Shibata, «A critical abalysis of volleyball skills series intro,» The art of coaching 6] volleyball, 13 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.theartofcoachingvolleyball.com/components-of-controlling-the-ball-in-passing-defense/>. [Último acceso: 31 Setiembre 2016].
- [1] S. Collado Vásquez, «PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS. APLICACIONES,» *Revista de la 7] Facultad de Ciencias de la Salud*, vol. 3, 2005.
- [1] S. Barnett, J. L. Cunningham y S. West, «A comparison of vertical force and temporal 8] parameters produced by an in-shoe pressure measuring system and a force platform.,» *Clinical Biomechanics*, vol. 16, nº 4, pp. 353-7, 2001.
- [1] PASCO, «Force Platforms,» PASCO, 2016. [En línea]. Available: 9] <https://www.pasco.com/prodCompare/force-platforms/index.cfm>. [Último acceso: 20 Octubre 2016].
- [2] M. Ming-Jor y Taipei (TW), «Foot type and plantar pressure measuring device». USA 0] Patente US 7,950,163 B2, 31 Mayo 2011.
- [2] A. H. Razak, A. Zayegh, R. K. Begg y Y. Wahab, «Foot plantar pressure measurement 1] system: a review.,» *Sensors*, vol. 12, nº 7, pp. 9884-912, 2012.
- [2] SPI, «Foot Plate Pressure Sensor,» Sensor Products INC. Tactile pressure experts, 2016. 2] [En línea]. Available: <http://www.sensorprod.com/foot-plate-pressure-sensor.php>. [Último acceso: 20 Octubre 2016].
- [2] Tekscan, «In-Shoe Pressure Measurement Technology,» Tekscan - Pressure Mapping, 3] Force Measurement & Tactile Sensors, 2016. [En línea]. Available: <https://www.tekscan.com/product-group/medical/in-shoe>. [Último acceso: 20 Octubre 2016].
- [2] C. Hernandez, «Entrenamiento selección ITALIA adulta voleibol rumbo a Londres 2012,» 4] Youtube, 26 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Ab2FLfcCuG0>. [Último acceso: 28 Octubre 2016].

- [2 Educación Física, «Voleibol,» ef-primaria, 2016. [En línea]. Available: <https://ef-primaria.wikispaces.com/VOLEIBOL>. [Último acceso: 28 Octubre 2016].
- [2 M. Haro , «Laboratorio de análisis de marcha y movimiento,» *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, nº 2, pp. 237-47, 2014.
- [2 «AMTI Force and Motion,» Advanced Mechanical Technology, 2015. [En línea]. Available: <http://www.amti.biz/fps-guide.aspx>. [Último acceso: 1 Setiembre 2016].
- [2 L. Llamas, «DETECTAR CAMPOS MAGNÉTICOS CON ARDUINO Y SENSOR HALL A3144,» 8] *INGENIERÍA, INFORMÁTICA Y DISEÑO*, 4 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://www.luisllamas.es/2015/06/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>. [Último acceso: 31 Setiembre 2016].
- [2 e-auto, «Circuitos Operacionales 19 - Puente de Wheatstone,» e-auto.com.mx Para 9] mecánics y refracciones, [En línea]. Available: <http://e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/6619-circuitos-operacionales-19-puente-de-wheatstone>. [Último acceso: 30 Setiembre 2016].
- [3 «BERTEC,» Corporación Bertec, 2016. [En línea]. Available: 0] <http://bertec.com/products/force-plates/>. [Último acceso: 1 Setiembre 2016].
- [3 «KISTLER measure, analyze, innovate.,» Kistler Instrument Corp., 2015. [En línea]. 1] Available: <https://www.kistler.com/us/en/applications/sensor-technology/biomechanics-and-force-plate/motion-gait-analysis/>. [Último acceso: 1 Setiembre 2016].
- [3 D. Zahradnik, D. Jandacka, J. Uchytíl, R. Farana y J. Hamill, «Lower extremity mechanics 2] during landing after a volleyball block as a risk factor for anterior cruciate ligament injury,» *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered*, vol. 16, nº 1, pp. 53-8, 2015.
- [3 S. C. Sorenson, R. B. Souza, C. D. Pollard, G. J. Salem, S. B. Arya y K. Kulig, «Knee extensor 3] dynamics in the volleyball approach jump: the influence of patellar tendinopathy,» *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, vol. 40, nº 9, pp. 568-76, 2010.
- [3 C. Baker, «HLPE3531 Biomechanics Blog - The Volleyball Spike,» HLPE3531 Biomechanics 4] Blog, 18 Junio 2015. [En línea]. Available: http://cambellbakervolleyballspike.blogspot.pe/2015/06/hlpe3531-biomechanics-blog-volleyball_49.html. [Último acceso: 01 Setiembre 2016].
- [3 T. Amasay, «Static Block Jump Techniques in Volleyball: Upright versus Squat Starting 5] Positions.,» *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, vol. 22, nº 4, pp. 1242-8, 2008.

- [3] T. West, A. Campbell y L. Ng, «The effect of ankle bracing on knee kinetics and kinematics during volleyball-specific tasks,» *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, vol. 24, nº 6, pp. 958-63, 2014.
- [3] C. Sonsino Pereira, E. Yuri Suda y I. de Camargo Neves Sacco, «Vertical ground reaction forces and EMG during landing in functionally unstable ankle,» *Conference: XXV Internacional Symposium on Biomechanics in Sports*, pp. 231-4, 2007.
- [3] A. C. Drueding y G. M. Glass, «FORCE PLATFORM SYSTEM». United States Patente US 8] 2012/0123701 A1, 17 Mayo 2012.
- [3] D. García Hilares, «Perfil de jugadoras de voleibol,» Instituto Peruano del Deporte, Lima, 9] 2016.
- [4] SENJI, «JIS B 1173 máquina de tornillo sin cabeza A4-80,» Alibaba.com, 2016. [En línea]. Available: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/jis-b-1173-a4-80-stud-bolt-machine-60289438042.html>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [4] SOM, «DIN 6923 / ISO 4161,» SOM, 2016. [En línea]. Available: 1] <http://www.somas.com.tr/en/din-6923-iso-4161>. [Último acceso: 14 Noviembre 2016].
- [4] NURMAK VIDA, «Din iso 7049 cabeza plana autoperforantes tornillo con ranura en cruz 2] (din 7981),» Alibaba.com, 2016. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/din-iso-7049-pan-head-self-tapping-screw-with-cross-recess-din-7981--137269097.html>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [4] P. Kejik, S. C. reymond y P. Radivoje, «Circular hall transducer for angular position 3] sensing,» *Transducers '07 & Eurosensors XXI conference*, 2007.
- [4] R. L. Sakaguchi, A. VersLuis y W. H. Douglas, «Analysis of strain gage method for 4] measurement of post-gel shrinkage in resin composites,» *Dental Materials*, vol. 13, nº 4, pp. 233-39, 1997.
- [4] Fédération Internationale de Volleyball, "FIVB World Ranking, selección Sub18 hasta 5] diciembre del 2015," [Online]. Available: http://www.fivb.org/en/volleyball/VB_Ranking_WU23_2015-12.asp. [Accessed 2016].
- [4] Advanced Mechanical Technology Inc., *AMTI Biomechanics Force Platform Installation 6] Manual*, MA 02478 USA: Advanced Mechanical Technology, Inc., 2012.

ANEXOS

ANEXO A: REUNIÓN CON LOS ENTRENADORES DE VOLEIBOL DEL IPD

El miércoles 10 de agosto del 2016 se sostuvo una reunión con los entrenadores de la selección peruana de voleibol en el Instituto Peruano del Deporte (IPD) donde Mauro Marasciulo, entrenador de la selección juvenil damas 2015-2016, comentó acerca de la realidad del voleibol a nivel internacional y nacional.

En el transcurso de la reunión, mencionó que en el país, los entrenadores de los diferentes deportes necesitan capacitaciones acerca de temas de biomecánicas, en especial la mecánica de los movimientos para agilizar y mejorar diferentes técnicas, ya que en otros países, los entrenadores cuentan con capacitaciones frecuentes donde observan, analizan y aprenden como poner en uso los conceptos de biomecánica en sus entrenamientos.

Además, indicó que considera muy importante el estudio de la técnica de recepción, porque si la voleibolista no cuenta con una adecuada posición inicial de la técnica, el éxito de la jugada es muy bajo o nulo. Esto se debe a que al tener la posición inicial correcta de los miembros inferiores, le permite a la jugadora obtener una posición adecuada de las piernas al tratar de responder un saque o mate. Por ejemplo, si el balón viene muy cerca a la jugadora, tendrá que retroceder el cuerpo poniendo un pie hacia atrás (Ver **Figura 1**). Entonces, el obtener información acerca de las fuerzas de reacción con el piso es muy importante para esta acción.



Figura 1 Recepción hacia atrás

Agregó también que las chicas de alto rendimiento entre los 18 y 20 años es muy difícil corregir a nivel de técnica, ya que a esta edad las voleibolistas ya cuentan con un estilo propio de juego que a pesar que no sea la correcta, logran mantener un buen juego. Lo ideal sería aplicar el resultado de este estudio en la selección de menores, porque ellas se encuentran en una etapa de formación y aún se les puede corregir y orientar en sus diversos entrenamientos.

Finalmente, afirmó que en la técnica de recepción, la mayoría de lesiones se presentan en los miembros inferiores, debido a la rigidez que el cuerpo debe tener al recepcionar el balón y la fricción presente cuando se ejecuta la técnica.

ANEXO B: ENTREVISTA CON EL ENTRENADOR ENRIQUE BRISEÑO

Con el afán de recaudar toda la información posible como parte de la investigación, el miércoles 16 de noviembre del 2016 se tuvo una conversación con el entrenador de voleibol Enrique Briseño en el Coliseo el Olivar ubicado en Av. Horacio Urteaga 2011 en Jesús María. Al entrenador se le explicó el objetivo de la tesis y un resumen de toda la información recaudada hasta la fecha. Además, se le realizó algunas preguntas donde las más importantes son las siguientes con sus respectivas respuestas:

¿Es importante la técnica de recepción de servicio en el voleibol?

- Claro que sí, por lo general es la primera técnica que se usa para la formación de todas las jugadas. Y si hablamos de recepción de servicio, debe ser exitosa para aplicar una jugada de ataque contra el equipo oponente.

¿Le parece bien dividir de la técnica de recepción en cuatro fases: inicial, antes del impacto, durante el impacto y luego del impacto?

- Me parece correcto... es de esta forma con la que vienen trabajando en otros países como Cuba o Estados Unidos.

¿Cómo debería realizarse una buena recepción?

- Se piensa que la recepción es solo el choque de los antebrazos con el balón pero es incorrecto y si algunas jugadoras lo aplican, hay mucha posibilidad de perder el balón. Lo que se quiere en una recepción es transmitir todo el peso a los brazos para dar impulso a la pelota y esto se logra acompañando por un corto tiempo a la pelota durante el impacto no es un simple choque.

¿El trabajo de los pies durante la técnica de recepción es importante?

- La posición de los pies es muy importante durante la recepción, estos deben estar en dirección al balón para no forzar ni a la cadera ni a la columna al tratar de direccionar la pelota.

ANEXO C: PERFIL ANTROPOMÉTRICO 5 COMPONENTES DE LA PRE SELECCIÓN JUVENIL FEMENINA 2016 [39]

CATEGORÍA O MODALIDAD	JUVENIL	JUVENIL		JUVENIL	JUVENIL	JUVENIL		JUVENIL	JUVENIL	JUVENIL	JUVENIL		JUVENIL	JUVENIL	JUVENIL	JUVENIL	
Sexo (m=1;f=2):	2	2		2	2	2		2	2	2	2		2	2	2	2	
F.U.R.	04/04/2016	15/04/2016		12/06/2016	20/03/2016	01/05/2016		30/04/2016	14/03/2016	25/04/2016	27/04/2016		13/03/2016	05/05/2016	10/04/2016	15/04/2016	
FECHA DE EVALUACIÓN	11/04/2016	05/05/2016		27/06/2016	23/06/2016	11/04/2016		18/05/2016	24/06/2016	23/05/2016	11/04/2016		04/05/2016	03/05/2016	24/06/2016	11/04/2016	27/06/2016
FECHA DE NACIMIENTO	07/06/1999	17/02/2000		28/05/1997	09/08/1996	17/01/1999		06/12/1998	09/01/1998	20/07/1998	05/01/1997		12/05/1999	05/06/1996	11/03/1998	01/09/1998	05/02/2000
	16.8	16.2		19.1	19.9	17.2		17.4	18.5	17.8	19.3		17.0	19.9	18.3	17.6	16.3
Peso bruto(kg):	72.2	63.75		71.85	64.25	74.3		72.3	78.4	71.5	84.95		64.8	69.3	77.95	60.5	59.6
Estatura (cm):	185	175		181	173.5	180.3		173	180.7	178	172		180	174.5	185.3	160.5	164
Estatura sentado (cm):	93	88.5		94.5		95		87	94	93			91		94	88.5	88.5
Envergadura (cm):	187.3	177			178.5	183.7			179.5		178.5				165.2	161.7	
Enverg/Est :	101%	101%			99%	106%			101%		99%				103%	99%	
BMI (kg/m ²):	21.1	20.8			21.3	22.9		24.2		22.6	28.7		20.0	22.8		23.5	22.2
BSA/BM (cm/kg ²):	270.2	278.8			275.8	260.9		257.2		264.2	233.4		281.9	265.2		269.9	276.5
∑ 6 pliegues (mm)	93.6	97.0		86.4	47.4	84.6		70.2	98.4	90.8	161.8		68.0	119.4	101.4	75.0	71.0
∑ 8 pliegues (mm)	113.0	120.0		59.4	101.2	88.6		88.6	116.0	116.0	207.1		82.8	149.6		97.6	89.4
% Grasa Corporal_Yuhasz	18.1%	18.6%		17%	10.9%	16.7%		14.4%	18.8%	17.6%	28.6%		14.1%	22.1%	19.3%	15.2%	14.6%
Triceps	22.4	18.4		13.4	8.2	17.0		14.6	15.4	17.4	24.0		16.0	21.6	21.0	13.6	11.6
Subescapular	11.0	15.2		10.0	8.2	8.8		13.6	12.8	15.2	30.6		11.0	18.6	13.0	9.0	12.4
Bíceps	7.4	7.4			4.0	7.8		6.8		8.8	15.0		6.0	10.0		9.4	4.8
Suprallíaco	12.0	15.6			8.0	8.8		11.6		16.4	30.3		8.8	20.2		13.2	13.6
Supraespinal	8.4	11.0		14.0	8.8	8.6		8.0	19.4	13.0	28.0		6.8	15.0	12.0	10.2	9.8
Abdominal	17.2	23.4		18.0	10.0	14.2		14.0	22.4	24.2	34.0		13.8	27.0	17.6	21.6	16.0
Muslo Medial	18.0	18.0		17.0	7.8	20.0		13.2	12.6	10.4	28.6		11.8	21.0	25.4	11.8	10.8
Pantorrilla (máxima)	16.6	11.0		14.0	4.4	16.0		6.8	15.8	10.6	16.6		8.6	16.2	12.4	8.8	10.4
endo	3.9	4.4		3.6	2.5	3.3		3.6	4.5	4.4	7.4		3.3	5.3	4.3	3.6	3.0
meso	2.1	2.2		2.9	4.5	3.8		4.9	3.6	3.0	5.7		1.9	3.6	3.1	5.7	4.0
ecto	3.9	3.5		3.3	3.1	2.8		1.8	2.3	2.8	0.5		4.2	2.5	3.2	1.3	2.2

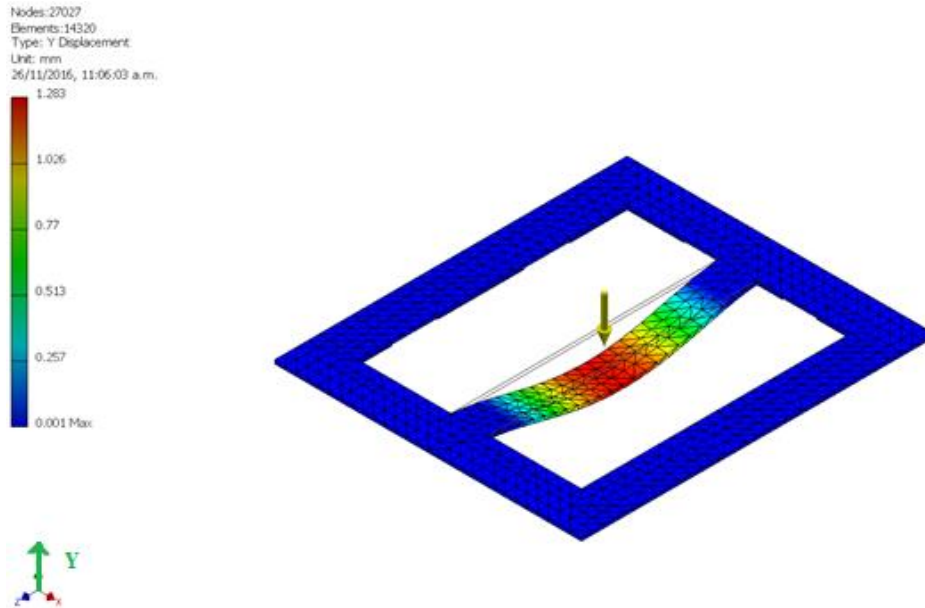
ANEXO D: TABLA DE DATOS GENERALES DE MEDIDAS BÁSICAS SELECCIÓN JUVENIL FEMENINA 2016 [39]

	Estadísticos	Edad	Peso	Talla
	Promedio	23	66	180
	Min	18	62	167
	Max	32	71	190
Deportista 1	12-Mar-1985	31	67	184
Deportista 2	19-Apr-1990	26	70	184
Deportista 3	28-Feb-1995	26	65	178
Deportista 4	03-Jul-1984	32	66	167
Deportista 5	16-Aug-1992	24	63	180
Deportista 6	28-May-1997	19	71	186
Deportista 7	11-Mar-1998	18	66	190
Deportista 8	11-Aug-1993	23	63	185
Deportista 9	22-Nov-1996	20	70	184
Deportista 10	19-Feb-1996	20	62	172
Deportista 11	31-May-1997	19	62	185
Deportista 12	05-Jan-1997	19	65	169
Deportista 13	09-Aug-1996	20	70	179

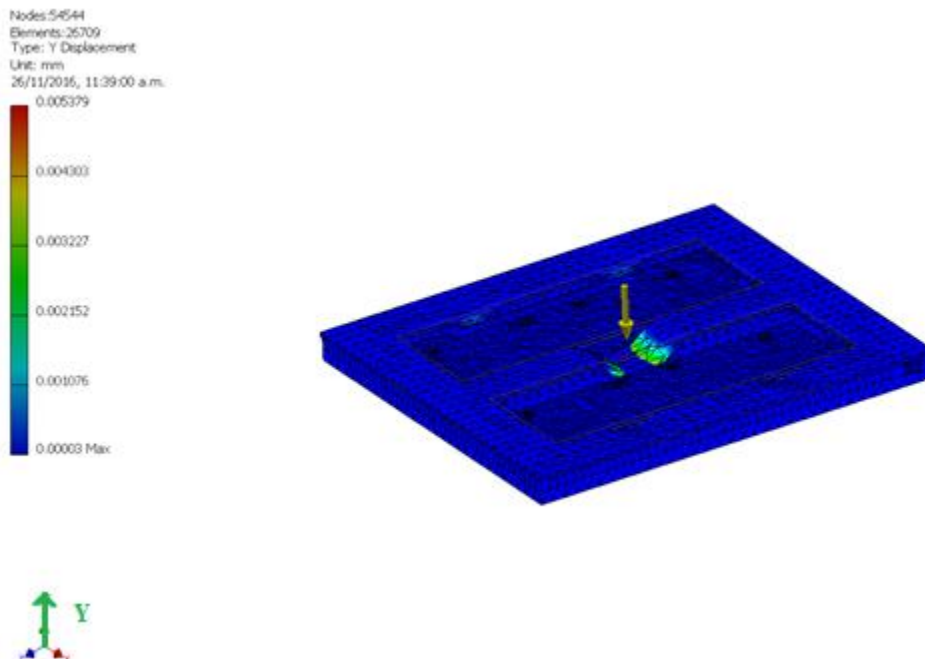


ANEXO E: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA TAPA

Se realizó el análisis de esfuerzos de la zona más crítica de la tapa sin los topes de la base con una fuerza de 650 N y se obtuvo un desplazamiento máximo en el eje Y de 1.283mm.

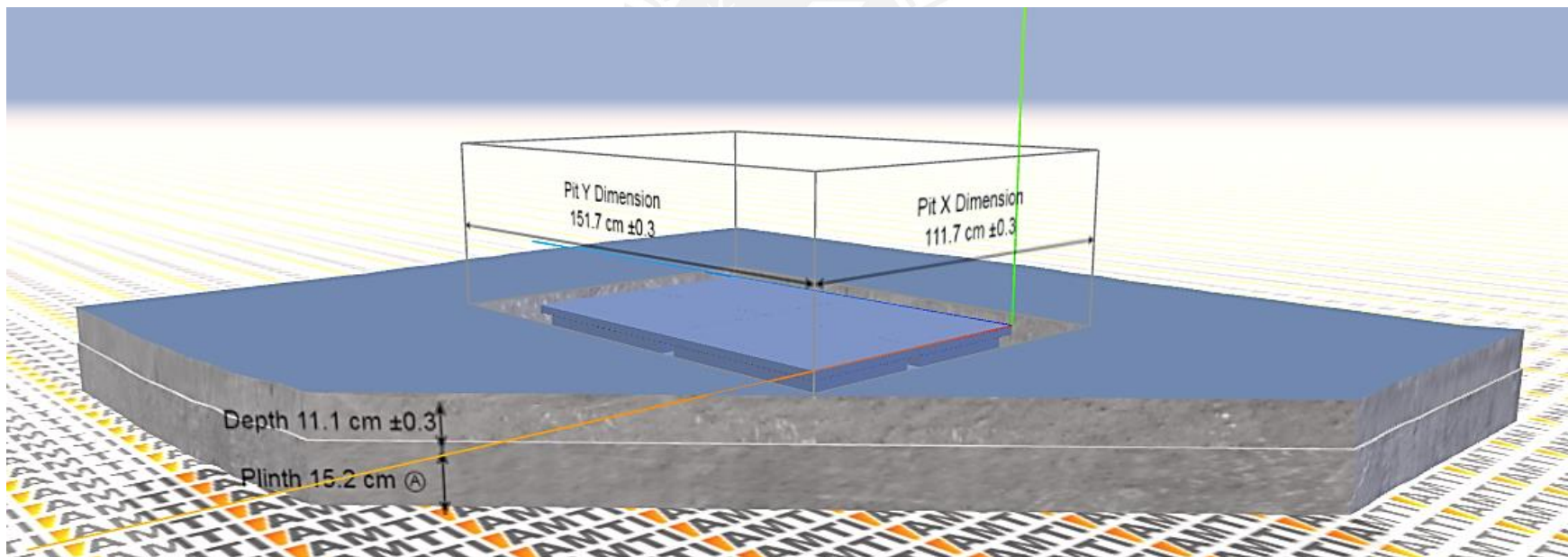


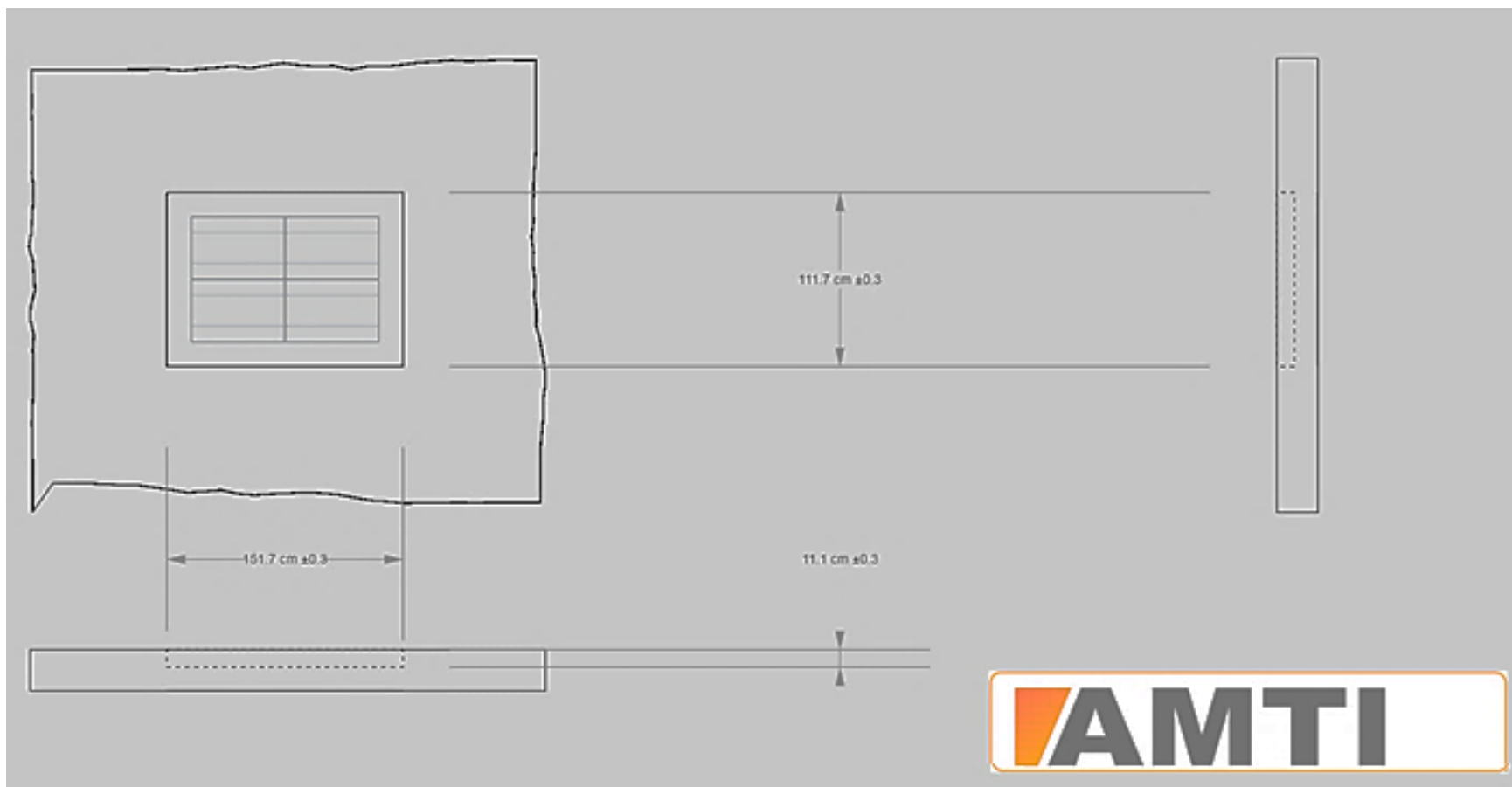
Luego, analizó con la base, la cual posee dos topes para evitar deformaciones y se obtuvo un desplazamiento de máximo en el eje Y de 0.005379mm. Por lo que la colocación de estos topes reduce considerablemente el riesgo de deformación o fractura de la tapa.



ANEXO F: SIMULADOR DE LABORATORIO – AMTI [27]

La marca AMTI tiene un simulador de laboratorio el cual te entrega datos referenciales como la distancia en la que deberían estar distribuidas las plataformas de fuerzas y/o rieles obtenidos por esta empresa. Del este simulador se aprovechó las distancias mínimas de las caras laterales de las plataformas con la paredes interiores de la base que lo contengan, requeridas por la misma marca. Esta según los planos mostrados es igual a 16 cm a cada lado, ya que en el eje X la distancia dada es de 112 cm aprox. al descontar la longitud de ambas plataformas en el eje X (Longitud en X de la plataforma es 40 cm) se obtiene 32cm. Entonces cada espacio debe tener una longitud de 16cm en el eje X. Del mismo modo en el eje Y (Longitud en Y de la plataforma es 60 cm), se obtuvo la misma cantidad. Estas longitudes han sido consideradas para la fabricación de la base.

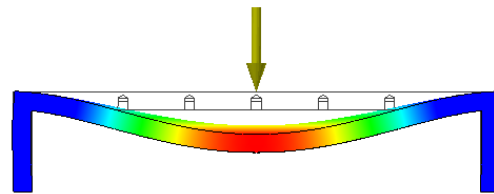
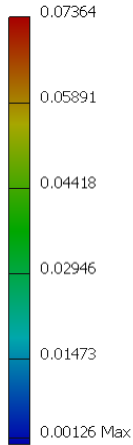




ANEXO G: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CAJÓN

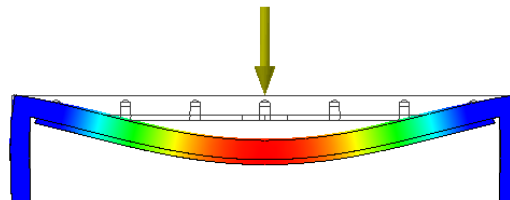
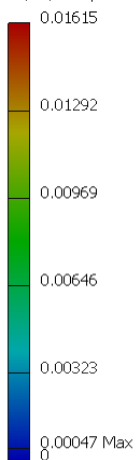
Al realizar el análisis de esfuerzos de la zona más crítica del cajón sin la nervadura de acero con una fuerza de 650 N se obtuvo un desplazamiento máximo en el eje Y de 0.07364mm.

Type: Y Displacement
Unit: mm
23/11/2016, 04:24:50 p.m.

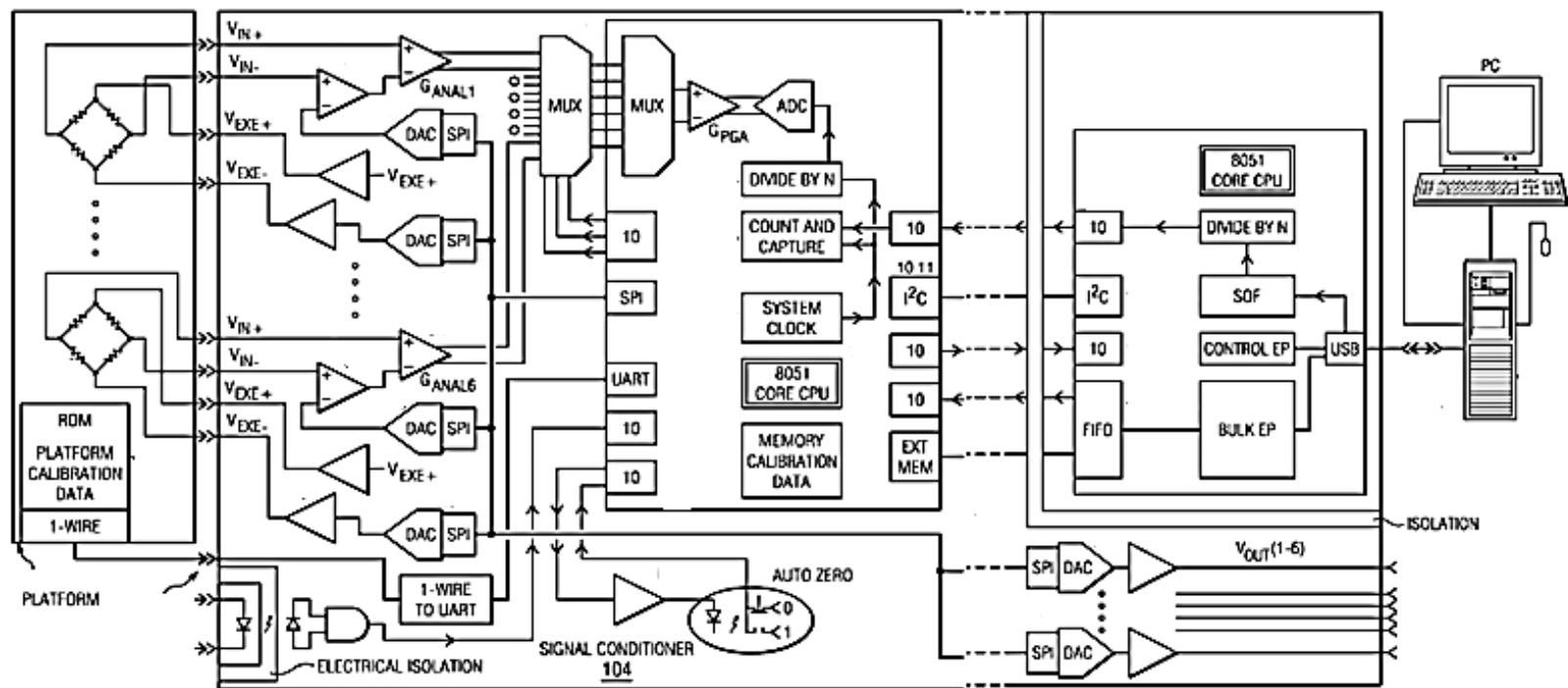


Luego, con la nervadura se obtuvo un desplazamiento de máximo en el eje Y de 0.001615mm. Por lo que la colocación de esta nervadura se redujo en un 78% la deformación obtenida anteriormente

Type: Y Displacement
Unit: mm
23/11/2016, 04:24:18 p.m.



ANEXO H: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL ACONDICIONADOR DE SEÑAL AMTI [38]

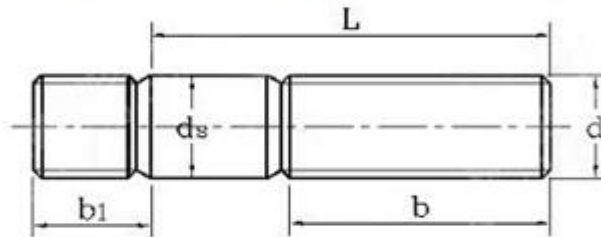


ANEXO I: JIS B 1173 MÁQUINA DE TORNILLO SIN CABEZA A4-80 [40]

composición química :

material	C	si	Minnesota	P	S	Ni	Cr
201	doce y quince	1	5.5-7.5	00:06	00:03	3.5-5.5	16-18
304	00:08	1	2	0045	00:03	8-10	18-20
304L	00:03	1	2	0045	00:03	9-12	18-20
309 S	00:08	1	2	0045	00:03	12-15	22-24
310 S	00:08	1.5	2	0045	00:03	19-22	24-26
314	doce y veinticinco	1.5-3	2	00:04	00:03	19-22	24-26
316	00:08	1	2	0045	00:03	10-14	16-18
316Cu	00:03	1	2	0045	00:03	10-14	16-18
316L	00:03	1	2	0045	00:03	12-15	16-18
321	00:08	1	2	0045	00:03	9-13	17-19
410	doce y quince	-	1	-	00:03	-	11,5-13,5
420	0,26-0,4	-	1	-	00:03	-	12-14
430	doce y doce	0.75	1	00:04	00:03	-	16-18

perno de husillo roscado A4-80 JIS B 1173 estándar:

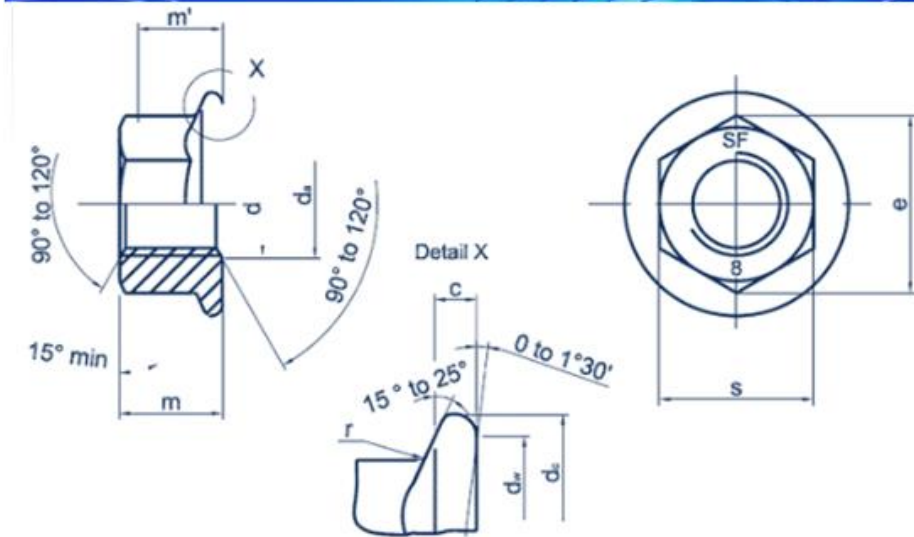


单位, mm

公称直径d	螺距P	b1	b		
			L ≤ 125	125 < L ≤ 200	L > 200
M4	0.7	5	14	20	/
M5	0.8	6.5	16	22	/
M6	1	7.5	18	24	/
M7	1	9	20	26	/
M8	1	10	22	28	/
M10	1.25/1.5	12	26	32	45
M12	1.25/1.5/1.75	15	30	36	49
M14	1.5/2	18	34	40	53
M16	1.5/2	20	38	44	57
M18	1.5/2.5	22	42	48	61
M20	1.5/2.5	25	46	52	65
M22	1.5/2.5	28	50	56	69
M24	2/3	30	54	60	73
M27	2/3	35	60	66	79
M30	2/3.5	38	66	72	85
M33	2/3.5	42	72	78	91
M36	3/4	45	78	84	97
M39	3/4	50	84	90	103
M42	3/4.5	52	90	96	109
M45	3/4.5	58	96	102	115
M48	3/5	60	102	108	121
M52	3/5	65	110	116	129

Para la colocación de las plataformas con la base se hace uso de 8 pernos sin cabeza, por lo que se ha elegido por los B 1173 - M10x12 - 1.5.

ANEXO J: TUERCAS DIN 6923 / ISO 4161 [41]



Vida Adimi (d)		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14
Paso de la rosca (d)								
	DIN 13	-	-	-	x1.00	x1.00	x1.25	x1.50
pag	DIN 13	-	-	-	-	x1.25	x1.50	-
	DIN 13	0.70	0.80	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
d _o	min	1.00	1.00	1.10	1.20	1.50	1.80	2.10
d _a	min	4.00	5.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00
	max	4.75	5.75	6.75	8.75	10.80	13.00	15.10
corriente continua	max	10.30	11.80	14.20	17.90	21.80	26.00	29.90
d _w	min	8.30	9.80	12.20	15.80	19.60	23.80	27.60
m _i	min	7.74	8.79	11.05	14.38	16.64	20.03	23.36
	max	4.50	5.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00
m	min	4.20	4.70	5.70	7.60	9.60	11.60	13.30
m'	min	1.80	2.20	3.10	4.50	5.50	6.70	7.80
	max	7.00	8.00	10.00	13.00	15.00	18.00	21.00
s	min	6.78	7.78	9.78	12.73	14.73	17.73	20.67
	max	0.30	0.30	0.36	0.48	0.60	0.72	0.88
r	max	0.30	0.30	0.36	0.48	0.60	0.72	0.88
Birim Agirlik-gr *		1.20	2.00	2.90	6.70	11.00	22.00	30.00
peso-gr Unidad *								
* Kütle Masa :		7,85kg / dm ³						

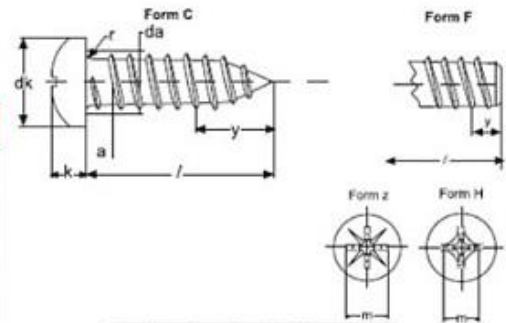
Para poder anclar las plataformas con la base se hace uso de 8 tuercas, estas serán del tipo ISO 4161 - M10 con m=10mm.

ANEXO K: DIN ISO 7049 CABEZA PLANA AUTOPERFORANTES TORNILLO CON RANURA EN CRUZ (DIN 7981) [42]



NURMAK VIDA

DIN ISO 7049 / YSB SAC VIDALARI (DIN 7981)								
d		2,2	2,9	3,5	4,2	4,8	5,5	6,3
p		0,8	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,8
a	max	0,8	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,89
da	max	2,8	3,5	4,1	4,9	5,6	6,3	7,3
dk	max	4	5,6	7	8	9,5	11	12
	min	3,7	5,3	6,64	7,64	9,14	10,57	11,57
k	max	1,6	2,4	2,6	3,1	3,7	4	4,6
	min	1,4	2,15	2,35	2,8	3,4	3,7	4,3
r	min	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,25
rf		3,2	5	6	6,5	8	9	10
Yıldız Büyüklüğü-PH		0	1	2			3	
Form H	m	1,9	3	3,9	4,4	4,9	6,4	6,9
	min	0,85	1,4	1,4	1,9	2,4	2,6	3,1
	max	1,2	1,8	1,9	2,4	2,9	3,1	3,6
Form Z	m	2	3	4	4,4	4,8	6,2	6,8
	min	0,95	1,45	1,5	1,95	2,3	2,55	3,05
y	Form C	2	2,6	3,2	3,7	4,3	5	6
	Form F	1,6	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6	3,6

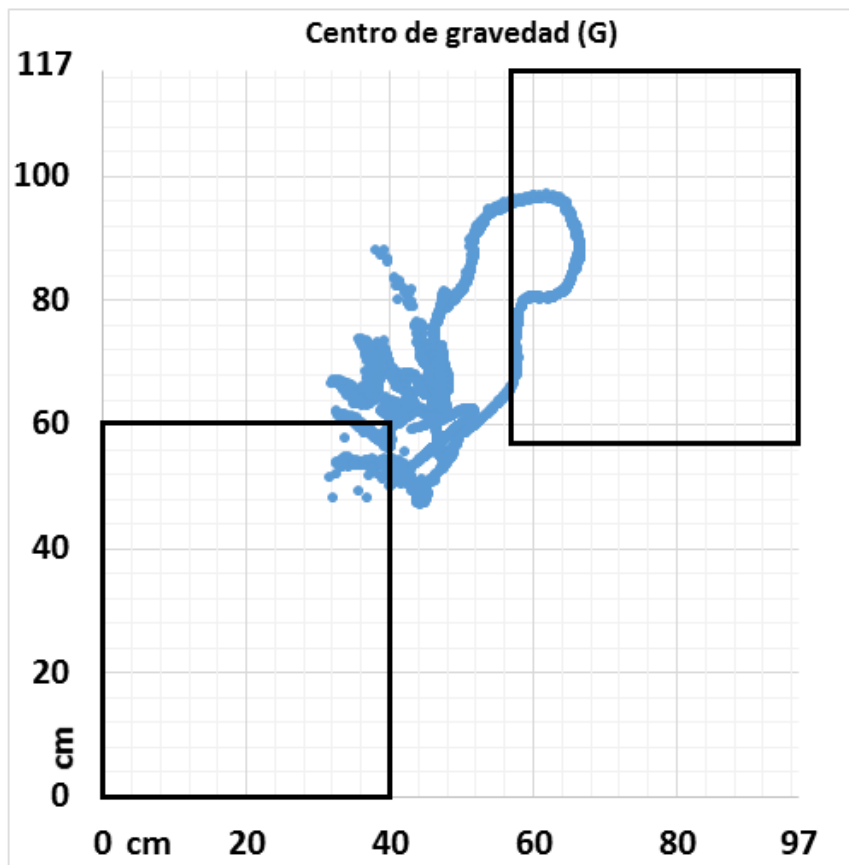


BOY	Form C		Form F	
	min	max	min	max
4,5	3,7	5,3	3,7	4,5
6,5	5,7	7,3	5,7	6,5
9,5	8,7	10,3	8,7	9,5
13	12,2	13,8	12,2	13
16	15,2	16,8	15,2	16
19	18,2	19,8	18,2	19
22	21,2	22,8	20,7	22
25	24,2	25,8	23,7	25
32	30,7	33,3	30,7	32
38	36,7	39,3	36,7	38
45	43,7	46,3	43,5	45
50	48,7	51,3	48,5	50

Para unir al cajón con la nervadura se ha utilizado 23 tornillos autoperforantes por caja cajón, se optó por los ISO 7049 - ST6.3 x 13 - F – H.

ANEXO L: PRUEBA FALLIDA

Este es la curva obtenida cuando el sujeto de prueba realizó un error al recepcionar el balón.



ANEXO M: CONSUMO DEL SISTEMA DE SENSADO

Teniendo en cuenta la siguiente tabla de especificaciones del Acondicionador de señal:

Gen 5 specifications	
Analogue inputs	Six four-arm strain gage bridge inputs (350 Ohm minimum)
Bridge excitation	Channel independent, software configurable – 2.5, 5 or 10 VDC
Amplifier gains	Channel independent, software configurable – 500, 1000, 2000, 4000
Auto zero (with offset capability)	Push button or software initiated
Anti-aliasing filter	1000 Hz low pass, 2-pole Butterworth
Analogue output range	+/- 5 volts
Analogue output reconstruction filter	1000 Hz low pass, 3-pole Butterworth
Analogue output DAC	16 bit
Sample rate	Max: 2000 Hz/channel Min: 10 Hz/ channel
Synchronization	Genlock, external trigger, internal clock
Digital Signal Processor	16 bit
Digital data	IEEE 754 floating point, 32 bit
Digital resolution	14 ENOB
Power supply	External medical grade (included) Input: 120-240 VAC, 50/60 Hz Output: 15VDC @ 0.3 amps
Connectors	Digital output: USB 2.0 Sync/genlock: RCA phono Power: 5.5 mm x 2.1 mm plug Analogue output: DB25S Transducer Input: 26-pin circular type connector
System environmental operating conditions	0 to 125°F (-18 to 52°C) 0 to 70% RH, indoor/laboratory environment
Physical dimensions (WxLxH)	26 x 21 x 4 cm (10.25 x 8.25 x 1.72)
Weight	2 kg (4.5 lbs)

La salida máxima de potencia sería de:

$$Potencia = V * A$$

$$Potencia = 4.5W$$

Pero para las pruebas se considerará que el acondicionador de señal trabajo a un 60%, obteniendo como potencia:

$$Potencia = 2.7W \approx 3W$$