





ISSN 2314-0925

Revista Argentina de Ingeniería

Publicación del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina
Año 6 - Volumen 11 - Mayo de 2018





COMITÉ EJECUTIVO 2017-2018

GIORDANO LERENA, Roberto

Presidente
Decano UFASTA – FI
presidente@confedi.org.ar

GARIBAY, María Teresa

Vicepresidente
Decana UNR – FCEyN
vicepresidente@confedi.org.ar

RECABARREN, Pablo

Secretario General
Decano UNC – FCEFN
secretariogeneral@confedi.org.ar

DEL GENER, Jorge Omar

Secretario Permanente
Decano UTN -FRA
secretariopermanente@confedi.org.ar

CUENCA PLETSCH, Liliana R

Presidente Saliente
Decana UTN – FRRe
presidentosaliente@confedi.org.ar

LOMBERA, Guillermo

Presidente Comisión de Extensión, Ciencia,
Tecnología
Decano UMdP – FI
cienciaytecnologia@confedi.org.ar

LORES, Gustavo Alberto

Presidente Comisión de Enseñanza
Decano UNJU – FI
ensenanza@confedi.org.ar

KALOCAI, Guillermo

Presidente Comisión de Interpretación y
Reglamento
Decano UNS – DIEyC
reglamento@confedi.org.ar

GARCÍA, José Luis

Presidente Comisión de Presupuesto
e Infraestructura
Decano UTN-FRGP
presupuesto@confedi.org.ar

PASCAL, Oscar

Presidente Comisión de Posgrado
Decano UNLZ – FI
postgrado@confedi.org.ar

SOSA, Miguel Ángel

Presidente Comisión ad-hoc de Relaciones
Interinstitucionales e Internacionales
Decano UTN – FRD
internacionales@confedi.org.ar

MORAN, Daniel

Presidente Comisión ad-hoc de Nuevos
Alcances de Carreras de Ingeniería
Decano UNSL – FICA
nuevosalcances@confedi.org.ar

DE VINCENZI, Marcelo

Miembro Titular Órgano de Fiscalización
Decano UAI – FI
fiscalizacion@confedi.org.ar

OLIVETO, Guillermo

Secretario de Comunicaciones
Decano UTN – FRBA
comunicacion@confedi.org.ar

AUTORIDADES RADI 2018

Director

Néstor Ortega

(Ex Decano UNS - Miembro adherente CONFEDI)

Secretaría Ejecutiva

Mercedes Montes de Oca

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de Argentina

Editor

Alfredo Pintos

Paraná. Entre Ríos

CONSEJO EDITORIAL

Inga. María Teresa Garibay

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Rosario

Inga. Liliana Cuenca Pletsch

Facultad Regional Resistencia
Universidad Tecnológica Nacional

Ing. Gabriel Gentiletti

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Entre Ríos

Ing. Néstor Ortega

Ex Decano UNS
Miembro adherente CONFEDI

Ing. Jorge Pilar

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Nordeste

Ing. Roberto Giordano Lerena

Facultad de Ingeniería, UFASTA

Ing. Guillermo Lombera

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata

EDITORES ASOCIADOS

Ariel A. Braidot (UNER)

Eduardo A. Romero (UTN - FRVM)

José A. Cano (UNR - FCEIA)

Marcelo J. Karanik (UTN - FRR)

Marcelo T. Piovan (UTN - FRBB)

Roberto E. Cáceres (UNSJ - FI)

Elena B. Durán (UCSE - FMA)

Liz G. Nallim (UNSa - FI)

Rosanna Costaguta (UNSE - FCEyT)

Susana L. Vidales (UNL - DT)

Fernando O. Martínez (UNR - FCEIA)

Gloria E. Alzugaray (UTN - FRSF)

Silvia del Carmen Rodríguez (UNSE - FCAyA)

RADI - Revista Argentina de Ingeniería

Publicación del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina - ISSN 2314-0925
Año 6 - Volumen 11 - Mayo de 2018

COMITÉ DE EVALUADORES

Acevedo, Rubén Carlos - UNER - FI
Aguirre, Roberto Jorge - UNLu-DT
Albanesi, Eduardo Aldo - UNER - FI
Aldalur, Beatriz - UNSur - DI
Alzugaray, Gloria Elena - UTN - FRSF
Ardissone, Daniel Enrique - UNSL - FI
Braidot, Ariel A. A. - UNER - FI
Cáceres, Roberto Edgar - UNSJ - FI
Cano, José Angel - UNR - FCEIA
Cayssials, Ricardo Luis - UTN-FRBB
Chamorro, Ester R. - UTN-FRRe
Cirera Eduardo - UNNE - FI
Costaguta, Rosanna N. - UCSE - FMA
Cuenca Pletsch Liliana R. - UTN - FRRE
Depettris, Carlos A. - UNNE - FI
Di Paolo, José - UNER - FI y UTN - FRSF
Durán, Elena Beatriz - UCSE - FMA
Elaskar, Sergio - UNC - FCFyN
Escalante, Mario Raúl - UTN - FRCU
Faggi, Ana - UFlo - FI
Fernández, Sandra - UNS - DI
Francisca, Franco Matías - UNC - FCFyN
Garassino Sergio - UNaM - FI
Godoy, Luis Augusto - UNC - FCFyN
Gramajo Sergio - UTN - FRRE
Guarnieri, Fabio Ariel - UNER - FI
Hueda, Mario Rafael - UNC - FCFyN
Karanik, Marcelo J. - UTN - FRRe
Kowalski Víctor - UNaM - FI
La Red Martínez, David - UNNE - UTN FRRe
López Sardi, Estela M. - UP - FI
Lorefice, Ricardo H. - UNSE FCEyT
Machado, Sebastián P. - UTN - FRBB
Marchisio, Susana Teresa - UNR - FCEIA
Martínez, Fernando O. - UNR - FCEIA
Medina, Mabel A. - UNR - FCEIA
Möller, Oscar - UNR - FCEIA
Nallim, Liz Graciela - UNSA - FI
Nicola Siri, Leonardo Cristián - UNER - FI
Ortega Néstor - UNS - DI
Pérez, Carlos Alejandro - UTN - FRRe
Pérez, Raúl César - UTN - FRM
Pilar, Claudia Alejandra - UNNE - FI
Pilar Sonia A. - UNNE - FI
Piovan, Marcelo Tulio - UTN - FRBB
Preidikman, Sergio - UNC - FCFyN
Puliafito, Salvador Enrique - UTN - FRM
Redolfi, Emilio Roque - UNC - FCFyN
Robles, Sandra I. - UNSur - DI
Rodríguez, Silvia del Carmen - UNSE - FAYa
Roibón María José - UNNE - FI
Romero, Eduardo Abel - UTN - FRVMA
Ruberto Alejandro R. - UNNE - FI
Rufiner Di Persia, Hugo L. - UNER - FI
Sampallo, Guillermo Manuel - UTN - FRR
Sapag, Luis - UTN - FRN
Sauchelli, Victor Hugo - UNC - FCFyN
Schiavon, María Isabel - UNR - FCEIA
Sobrero, María T. - UNSE - FA y A
Todorovich, Elías - FASTA
Toncovich, Adrian - UNSur - DI
Torres, María Eugenia - UNER - FI
Tymoschuk, Ana Rosa - UTN - FRSF
Vera, Luis - UNNE - FACENA
Vidales, Susana Leontina - UNLu - DT
Zavala, Gustavo Rubén - UNNE - FI
Zemba, Guillermo Raúl - UCA - BA

CONFEDI

Ayacucho 132, 1ª (C1025AAD) CABA - Tel: 54 11 4952 4466

www.confedi.org.ar - radi@confedi.org.ar - Twitter: @confediok - FaceBook: confedi

Índice de Contenidos

Secciones Permanentes

9	EDITORIAL El rumbo de la RADI Néstor F. Ortega
10	EDITORIAL ¡30 años! Roberto Giordano Lerena
16	OPINIÓN Proyección de la Universidad Tecnológica Nacional Héctor Eduardo Aiassa - Miguel Ángel Sosa
19	PROYECTOS Programa “Mujer en Ingeniería” María Teresa Garibay
21	TEMAS DE INGENIERÍA La formación continua de los Docentes de Ingeniería, condición necesaria para cumplir los nuevos estándares de acreditación. Gustavo Lores
25	DESARROLLO TECNOLÓGICO Y TRANSFERENCIA Los proyectos de desarrollo tecnológico y social: el aporte del CONFEDI mediante la creación del banco de evaluadores Guillermo Lombera
28	INGENIERÍA EN ARGENTINA. Nuevos estándares de acreditación de carreras de ingeniería en Argentina. Sergio Pagani
34	INGENIERÍA IBEROAMERICANA Articulación de organizaciones de ingeniería en América. Miguel Ángel Sosa
37	AGENDA DE INGENIERÍA Actividades 2018 Mercedes Montes de Oca
40	HISTORIAS Y ANÉCDOTAS DEL CONFEDI. Historias y anécdotas del CONFEDI Cristóbal “Polo” Lozeco
Artículos presentados a la RADI	
42	Investigación interfacultades tendiente a mejorar la formación inicial en carreras de Ingeniería Rafael Omar Cura - Karina Ferrando - Ricardo Bernatene - Mónica Burguener - María José Esteves Ivanissevich - Mónica García Zatti.
51	Estándares del pensamiento crítico en un test diagnóstico Iris Dias - Verónica Nodaro - Carina Rubau - Cecilia Fernández Gauna - Mercedes Tovar Toulouse - Armando Fernández Guillermet

59	Diagnóstico de los sistemas de riego en una cuenca del sudoeste bonaerense Martín Eduardo Espósito - Sandra Noemí Fernández - Juan Darío Paoloni - Mario Eduardo Sequeira
67	Faena de pollo en productores rurales Santiago del Estero, Argentina. Jorge Nelson Leguizamón Carate - Florencia Salinas Ada Albanesi - Florencia Frau
75	Diseño de índice de eficiencia para la implementación del teletrabajo Gabriel Maresca
83	Educación en la era de la 4ª revolución industrial: Competencias para un mundo donde lo único constante es el cambio Pablo Recabarren - Uriel Cukierman
87	Comparación de la cinemática articular entre una pala normal y palas doble mango Ariel Braidot - Diana Casas - Jonathan Gotte - David Nietzsche - Pedro Tomiozzo - Yisel Cano - Juan Castillo - Diana Mateus - Raúl Raimondi - Jorge Ray
98	Propuesta didáctica para un tema de cálculo en la enseñanza de Ingeniería Patricia Cuadros - Sebastián A. Godoy
106	Diseño de cocina de inducción en la universidad para la empresa Federico Gaona - Ever Quiñonez - Ariel Manabe
112	Criterios de riesgo e ingeniería de materiales. Combinando herramientas en el mantenimiento de una enfriadora de clinker. Edith Gareca - Edmundo Tolabín - Teresa Antequera
120	Modelado computacional acústico para una sala de concierto Leonardo Funes - Alejandro Bidondo - Esteban Lombera
126	Participación en un organismo de Naciones Unidas como disparador de oportunidades académicas Juan Pablo Martín - Rudy Grether
134	Análisis de la valoración salarial de los Ingenieros en la Argentina Mariano Gabriel Ponzo
142	PAUTAS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS.

Comparación de la cinemática articular entre, una pala normal y palas doble mango

Ariel Braidot*
Diana Casas*
Jonathan Gotte*
David Nietzsche*
Pedro Tomiozzo*
Yisel Cano*
Juan Castillo*
Diana Mateus*
Raúl Raimondi#
Jorge Ray#

E-mail: abraidot@bioingenieria.edu.ar

*Facultad de Ingeniería, UNER

*Universidad del Rosario

#BIASSONI E HIJOS S.A.I.C.A.

RESUMEN

El objetivo del estudio es evaluar el movimiento del tronco, de los miembros superiores e inferiores mediante el análisis cinemático en 3D durante el gesto de palear, comparando el uso de una pala tradicional contra dos prototipos de pala con un agarre adicional. Se ha encontrado que al usar la pala modificada, los rangos de flexión y abducción de las articulaciones del hombro, lumbosacro, cadera y rodilla disminuyeron en comparación con el uso de la pala tradicional. Esto genera una reducción favorable de la carga mecánica en la parte inferior de la espalda y un aumento de la comodidad al palear. Este artículo muestra que la inclinación lateral izquierda del tronco con respecto a la pelvis se reduce con el uso del nuevo diseño de pala de doble mango. El sujeto permanece en una posición más vertical durante toda la secuencia de movimiento, por lo que se reducen los factores de riesgo de lesión.

ABSTRACT

The study aims to evaluate the movement of the trunk and upper and lower limbs by kinematic 3D analysis during shoveling, comparing the use of a traditional shovel with two shovel prototypes with an additional grip. It has been shown that when using the modified shovel, the flexion and abduction ranges of the shoulder, lumbosacral, hip and knee joints were decreased in comparison to the use of the traditional shovel. This generates a favorable reduction of the mechanical load in the lower back and an increase of the comfort when shoveling. This article demonstrates that the left lateral tilt of the trunk with respect to the pelvis is reduced with the use of the new double handle shovel design. The subject remains in a more upright position throughout the movement sequence, consequently, the risk factors for injury are reduced.

PALABRAS CLAVE

Palas, doble mango, cinemática de articulaciones, diseño.

INTRODUCCIÓN

Los desórdenes músculo esqueléticos asociados al trabajo (*Working Muscle Skeletal Disorders WMSD*), se relacionan con síntomas como dolor o molestias; generalmente afectan las articulaciones, los músculos, tendones favoreciendo el deterioro de la salud física. Estos desórdenes se pueden generar por la realización de posturas inadecuadas, por manipulación de cargas, esfuerzos o movimientos repetidos, afectando al trabajador, su entorno y productividad laboral, asociándose a un problema de salud pública. Esta problemática en España representa más del 30% [1,2].

El *Health and Safety Executive (HSE)* del Reino Unido demostró que la tasa de enfermedad laboral relacionada al trabajo a partir de reportes en el sector de la construcción sigue siendo el segundo más alto luego del transporte y almacenamiento [3]. En España, el 45% de los trabajadores de construcción declararon realizar movimientos repetitivos durante más de media jornada laboral [4].

Por otro lado, Latza *et al.* encontraron que en los albañiles, el 62% de las lesiones son de espalda, además, hay una prevalencia de otros dolores músculo-esqueléticos con una duración de más de 12 meses [5].

Se ha estudiado la cinemática de la columna de la región lumbar en trabajadores utilizando palas de nieve, donde se evaluó una pala de eje doblado, encontrando que reduce el impulso de extensión angular en L5/S1 en un 16,5%, también se reduce en un 13% el pico de flexión [6]. Un análisis similar, mostró que las desviaciones lumbares, la velocidad y la aceleración disminuyen en el plano sagital en comparación con palas de eje recto, además de una disminución de la flexión al momento de palear [7].

Este estudio propone introducir mejoras ergonómicas en el diseño de las herramientas utilizadas por los trabajadores de la construcción. En particular se evaluó el nuevo diseño de una pala ancha con un cabo adicional, el cual se compara con el diseño tradicional. Para ello, se desarrolló un protocolo de regis-

tro en el laboratorio de biomecánica utilizando un análisis cinemático en 3D. Este nuevo diseño y el prototipo fueron desarrollados por la empresa Biassoni. Se realiza un análisis de las mejoras con los cambios del nuevo diseño, en cuanto a posturas, cargas y ergonomía en el trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la evaluación del nuevo diseño del prototipo de palas con dos mangos, se utilizó un sistema de registro del movimiento en un espacio especialmente adaptado para realizar la secuencia de paleo. Este espacio de trabajo se armó en el laboratorio de biomecánica, incluyendo un montículo de arena y una carretilla. En cada prueba se realizaron lanzamientos en diferentes direcciones: frontal, oblicuo y lateral, formando ángulos respecto a la dirección de carga de la pala, de 0°, 45° y 90° relación a la ubicación de la carretilla (Figura 1) [7]. Cada participante se situó en posición bípeda y cómoda para realizar la carga de arena en la pala, descargándola luego en la carretilla. En la Figura 2 se muestra un ejemplo con la carretilla ubicada en la posición correspondiente al lanzamiento lateral de cada palada de arena. Considerando que los participantes son diestros estos ángulos corresponden a posiciones de la carretilla del lado izquierdo respecto de un plano sagital al participante.

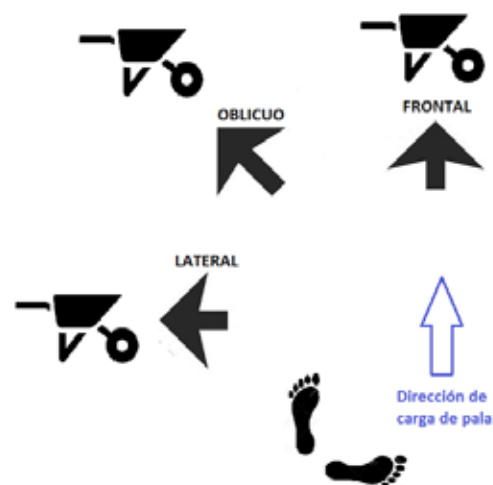


Figura 1: Representación esquemática de las posiciones de la carretilla respecto al sujeto.

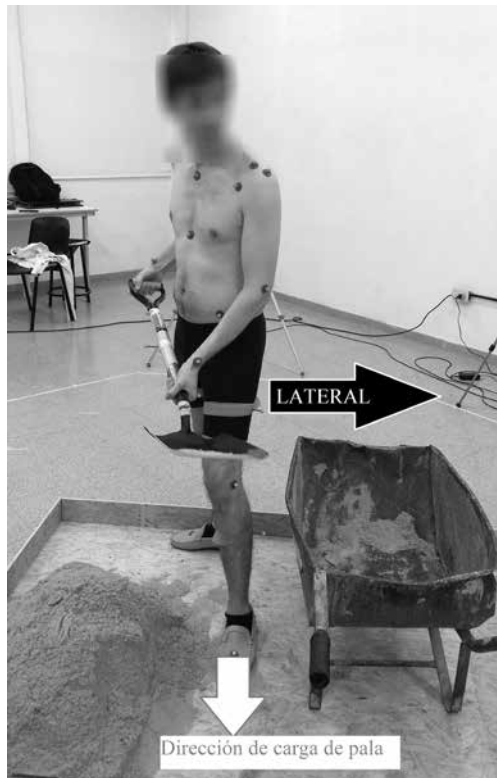


Figura 2: Sujeto con la carretilla en posición LATERAL (90°) utilizando la pala ancha (PA).

Sistema de registro

Hardware: Para la recopilación de los datos se contó con el sistema Optitrack, de Natural Point Inc., que dispone de 8 cámaras Optitrack Flex 13, sistemas de adquisición y procesamiento de imágenes 3D con una frecuencia de 120 Hz. El mismo utiliza marcadores reflectivos ubicados de acuerdo al protocolo de Davis (1991) para miembros inferiores, para miembros superiores se empleó una modificación de las recomendaciones del ISB [8][9]; además, se utilizaron tres marcadores en las palas.

Software: Se utilizó el software de captura óptica de movimiento Motive. Éste permitió obtener la posición espacial de los marcadores. Además de eliminar los gap presentes en las señales.

Para el procesamiento, presentación gráfica y evaluación de los parámetros de interés, se realizó un código en MatLab® recurriendo a las herramientas BTK (*Biomechanical Tool Kit*). Se implementó un algoritmo para el cálculo de los ángulos de las articulaciones de los miembros inferiores y superiores en los

tres planos anatómicos a partir de las orientaciones de los sistemas coordenados locales de los segmentos [9, 10].

Montaje experimental

Se obtuvieron registros de dos personas de sexo masculino, siendo el sujeto 1; diestro, de 24 años, estatura de 1,75 [m] y peso de 70 [Kg] y el sujeto 2; diestro, de 23 años, estatura de 1,80 [m] y peso de 69 [Kg]. Ninguno presentaba antecedentes de lesiones en baja espalda u otras que afecten la actividad.

Se manipuló una pala cuadrada cabo corto de acero forjado utilizada para recoger materiales de construcción (arena, escombros, etc.) con un cabo de madera de $1,5 \pm 0,01$ [m] y mango tipo D fabricado en chapa y madera (en adelante pala ancha, PA). Con un peso total de $2,5 \pm 0,1$ Kg. (Figura 3). A la misma se adaptó un cabo de madera extra de $46 \pm 0,1$ [cm] y de $0,76 \pm 0,1$ [Kg], con mango tipo D fabricado en polímero (en adelante pala con mango 1, PM1). Este mango adicional forma un ángulo de 61° con respecto al eje principal (Figura 4).



Figura 3: Pala ancha.

En el siguiente prototipo se adaptó otro cabo fabricado íntegramente en metal de 42 ± 1 [cm] y $1 \pm 0,1$ [Kg], también con mango tipo D (en adelante pala con mango 2, PM2). El mismo forma un ángulo de 56° con respecto al eje principal (Figura 4). Todos los diseños y prototipos son de la empresa Biassoni.

Los marcadores se ubicaron en la vértebra cervical C7, vértebra torácica T8, horquilla esternal, apéndice xifoides, articulación esternoclavicular, articulación acromio clavicular, ángulo acromial, espacio coracoacromial, epicóndilo medial, epicóndilo lateral, estiloides radial, estiloides cubital, segundo meta-

carpiano, cóndilo lateral femoral, espina ílica anterosuperior, S2 sacro, banda femoral, rodilla, banda tibial, maléolo lateral, tercer metatarso y talón.



Figura 4: Pala ancha con cabo extra de madera (superior) y cabo extra de metal (inferior).

Evaluación de la cinemática articular

Todos los cálculos se realizaron MatLab®. Para evaluar los ángulos en cada una de las articulaciones se definen los sistemas coordenados locales de cada uno de los segmentos como se muestra a modo de ejemplo para la articulación de la rodilla izquierda en la Figura 5 [10].

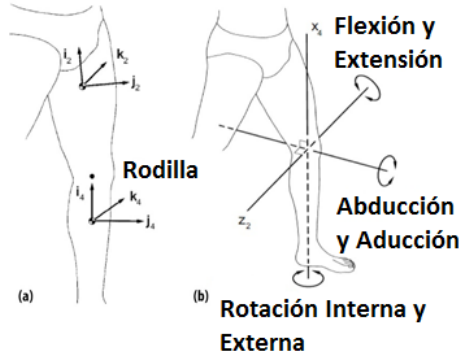


Figura 5: Sistemas coordenados locales para rodilla izquierda. (a) Orientaciones de los segmentos proximal y distal. (b) Sistemas de ejes coordenados anatómicos [10].

Para evaluar ejes articulares de cada articulación se define:

$$I_{j \text{ int}} = \frac{k_{proximal} * i_{distal}}{|k_{proximal} * i_{distal}|} \tag{1}$$

Este versor $I_{j \text{ int}}$ vincula dos segmentos: proximal y distal. Por ejemplo, para la articu-

lación de la rodilla, el $k_{proximal}$ corresponde al versor k del muslo y el versor i_{distal} corresponde al versor i de la pierna, esto se realiza para cada articulación [10].

Asimismo, se definen los ejes de rotación de las articulaciones como: flexión-extensión se produce respecto del eje medial-lateral del segmento proximal ($k_{proximal}$), rotación interna-externa es respecto del eje longitudinal del segmento distal (i_{distal}) y la abducción-aducción es respecto al eje flotante ($I_{j \text{ int}}$) perpendicular a los ejes de flexión-extensión y de rotación interna-externa definidos (ver Figura 5.b) [10]. En términos generales, los ángulos anatómicos de las articulaciones se obtienen,

Ángulo de Flexión(+)/Extensión(-):

$$\alpha_{j \text{ int}} = \sin^{-1}[I_{j \text{ int}} * i_{proximal}] \tag{2}$$

Ángulo de Abducción(+)/Aducción(-):

$$\beta_{j \text{ int}} = \sin^{-1}[k_{proximal} * i_{distal}] \tag{3}$$

Ángulo de Rotación Interna(+)/Extensión(-):

$$\gamma_{j \text{ int}} = \sin^{-1}[I_{j \text{ int}} * k_{distal}] \tag{4}$$

Consideraciones

Pre calentamiento: el sujeto realizó movimientos de flexión máxima, extensión e inclinación lateral derecha e izquierda de tronco. Luego realizó ciclos de 15 segundos de movimientos máximos de flexión, extensión, inclinación lateral derecha e izquierda de tronco.

Prueba: Para cada dirección de lanzamiento se realizó el gesto que consta de 5 paladas continuas y se realizó 3 repeticiones del gesto, con un breve descanso entre ellas. Lo que significa que para cada combinación de mango-lanzamiento se registraban 15 paladas [7].

Ciclo del gesto: Se tomó como inicio del ciclo el instante de fin de descarga de la arena en la carretilla, continuando el gesto con la carga de la pala, hasta el instante de fin de descarga de la palada actual. El principio y final del ciclo coincide con la máxima extensión y rotación del tronco. En las Figuras 6 a

14 el ciclo se representa en abscisas entre el 0 y el 100%.

Con el objetivo de obtener un patrón del gesto con la mayor repetitividad posible se promediaron solo las tres paleadas intermedias, descartando la primera y la última de cada serie. Considerando que cada participante realizó 3 series y que se promediaron datos de dos participantes, este reporte corresponde al promedio de 18 ciclos.

RESULTADOS

A continuación en las Figuras de 6-14 se detallan los resultados de las excursiones angulares en valores promediados de las diferentes articulaciones analizadas en el gesto de paleo con las palas PA, PM1 Y PM2. Para la evaluación de las diferencias significativas (DS) se utilizó la rutina t-test2 de MatLab® mostrado en las barras horizontales inferiores, que indican si existe o no DS entre los tres diseños de pala para cada porcentaje del ciclo.

Si existe diferencias significativas se representa con negro, en caso contrario con color gris. La barra inferior compara PM1 con PM2 y la barra superior muestra la comparación entre PA y PM1/PM2.

En la mayoría de los registros angulares y en gran parte del ciclo, se observó diferencias significativas entre PA y las palas con mangos adicionales. Mientras que entre PM1 y PM2 prácticamente no existieron diferencias significativas en la mayoría de las articulaciones.

Flexión/Extensión de Cadera

En la Figura 6 se observa la excursión del ángulo de la cadera izquierda correspondiente a la dirección de lanzamiento frontal en función del porcentaje del ciclo de paleo. Al utilizar PM1 y PM2 se distingue una disminución de la máxima flexión y una reducción de la excursión respecto a PA en ambas articulaciones de cadera. Esta diferencia es más marcada en la fase de carga. Se obtienen resultados similares tanto para la cadera derecha como para la izquierda y en las direcciones de lanzamiento oblicuo y lateral.

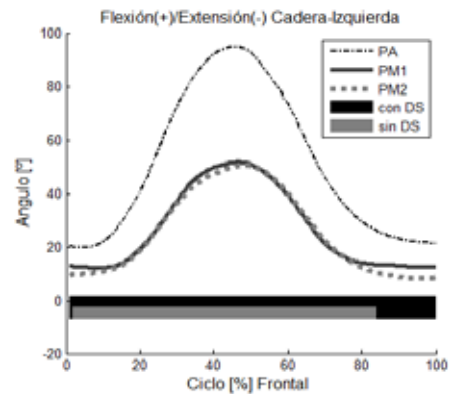


Figura 6: Ángulo de flexión/ extensión de la cadera izquierda en el lanzamiento frontal.

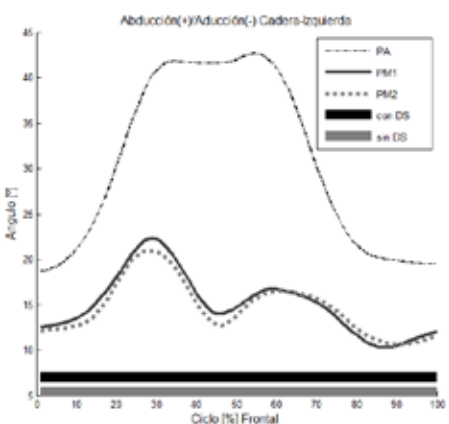
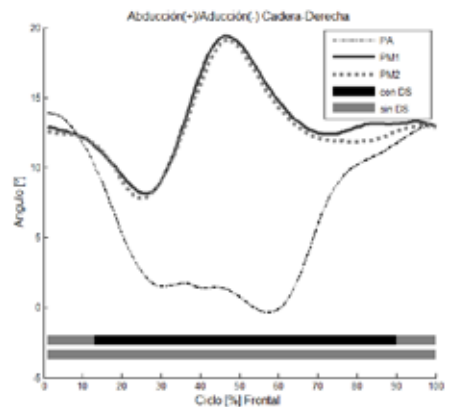


Figura 7: Ángulo de abducción/ aducción de la cadera derecha (arriba) e izquierda (abajo) para el lanzamiento frontal en función del gesto de paleo.

Abducción/Aducción de Cadera

En la Figura 7 se puede observar el ángulo de abducción y aducción de la cadera para el lanzamiento frontal. En general para las tres direcciones de lanzamiento, con PM1 y PM2



se tiene una abducción que ronda los 10° en la parte media del ciclo (carga de la pala).

La cadera derecha con PA realiza una abducción de alrededor de 15° en la fase de descarga (principio y final del ciclo) solamente en lanzamiento frontal. En los lanzamientos oblicuo y lateral permanece con mínima excursión en abducción (0° a 5°) durante todo el ciclo. Mientras que en la cadera izquierda con PM1 y PM2 se reduce la abducción significativamente durante la carga de la pala respecto de PA (parte media del ciclo).

Además, en la cadera derecha se aprecia que para todos los diseños de pala, en el período de la descarga se tiene una abducción equivalente en todas las direcciones de lanzamiento. Sin embargo se observa que en la cadera izquierda la abducción es menor durante todo el ciclo al utilizar PM1 y PM2 respecto a PA, en todas las direcciones de lanzamiento.

Rotación Interna/Externa de Cadera

Ambas caderas, permanecen en rotación externa durante todo el ciclo de paleo en todas las direcciones de lanzamiento. En la Figura 8 se observa la rotación interna/externa de cadera izquierda en dirección de lanzamiento frontal y lateral. En ésta existen diferencias significativas entre PA respecto PM1/PM2, mostrando mayor excursión angular con PA. En las direcciones de lanzamiento lateral y oblicuo hay diferencias significativas entre PM1 y PM2, aunque son mínimas. En cadera derecha no se aprecia diferencias significativas entre PA, PM1 y PM2, en las tres direcciones de lanzamiento.

ARTICULACIÓN DE RODILLA

En la Figura 9 se observa el ángulo de flexión/extension de la rodilla derecha e izquierda para el lanzamiento oblicuo. Se aprecian diferencias significativas durante gran parte del ciclo, entre PA y PM1/PM2, teniendo una excursión de flexión mayor en ambas rodillas al utilizar PA en todas las direcciones. En rodilla izquierda y derecha las excursiones, los máximos y los mínimos de PM1 y PM2 son muy similares entre sí en las tres direcciones

de lanzamiento. En abducción/aducción y rotación interna/externa no se encontraron diferencias significativas.

Flexión/extension de tronco respecto a pelvis

En la Figura 10 se presenta el ángulo de flexión/extension de tronco respecto a pelvis en función del ciclo de paleo, para la descarga lateral. Existen diferencias significativas entre PA y PM1/PM2 a lo largo de todo el ciclo de paleo. La flexión es levemente mayor para PA y no hay diferencias significativas entre PM1 y PM2.

El ángulo flexión/extension de tronco respecto a pelvis para los tres diseños de pala y en las tres direcciones de lanzamiento muestran comportamientos similares.

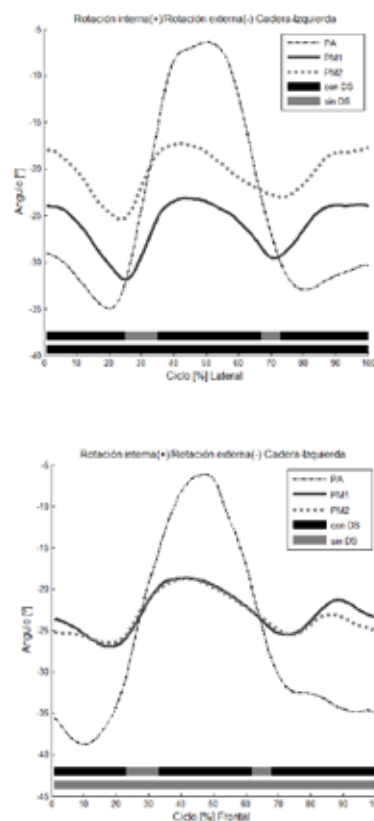


Figura 8: Ángulo de rotación interna/externa de cadera izquierda en el lanzamiento lateral (arriba) y frontal (abajo) en función del gesto de paleo.

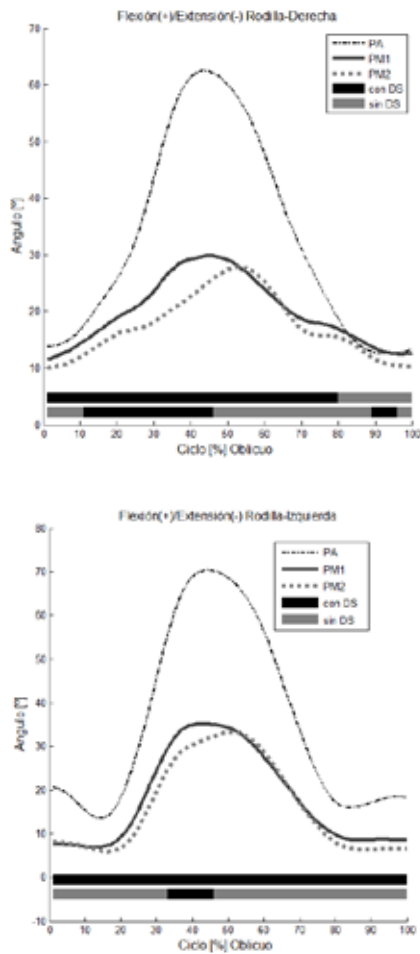


Figura 9: Ángulo de flexión y extensión rodilla derecha (arriba) e izquierda (abajo) para el lanzamiento oblicuo en función del gesto de paleo.

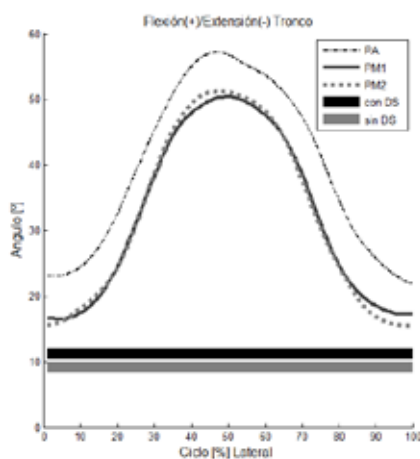


Figura 10: Ángulo de flexión de tronco respecto a pelvis para el lanzamiento lateral en función del gesto de paleo.

Inclinación lateral derecha/izquierda de tronco

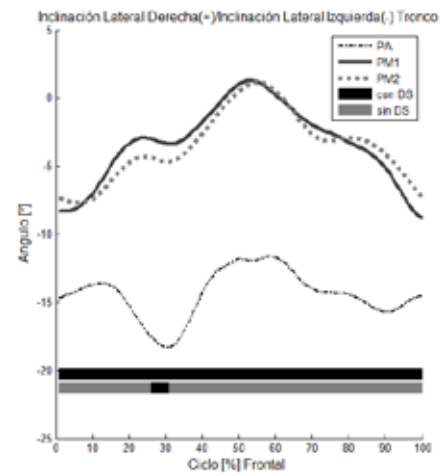


Figura 11: Ángulo de inclinación lateral derecha e izquierda del tronco respecto a la pelvis para el lanzamiento frontal en función del gesto de paleo.

En la Figura 11 se aprecian los valores de inclinación lateral de tronco en la dirección de lanzamiento frontal. En los lanzamientos oblicuo y lateral se observan ángulos similares. Existen diferencias significativas en todo el ciclo entre PA y PM1/PM2 con una mayor inclinación hacia el lado izquierdo con PA, alrededor de 15°, en las tres direcciones de lanzamiento. Mientras que para PM1 y PM2 la inclinación es cercana a 5° y son similares entre ellas.

Rotación izquierda/derecha de tronco

En la Figura 12 se observa el ángulo de rotación izquierda/derecha de tronco respecto de pelvis en el gesto de lanzamiento frontal. Utilizando PA se aprecia que hay una rotación de tronco a la derecha con una excursión cercana a 10° (0 y -10°). Sin embargo con PM1 y PM2 se aumenta la excursión de rotación hasta 30° llegando a tomar valores picos cercanos a +15° en rotación izquierda y derecha, respectivamente. En el cual se aprecian diferencias significativas entre PA y PM1/PM2.

Para la rotación de tronco respecto de pelvis en las direcciones de lanzamiento oblicua y lateral se encontró una morfología similar

entre ellas. Solo se encuentra en los extremos del ciclo (descarga de la pala) diferencias significativas entre PA y PM1/PM2 con un aumento en la rotación izquierda al utilizar PM1 y PM2.

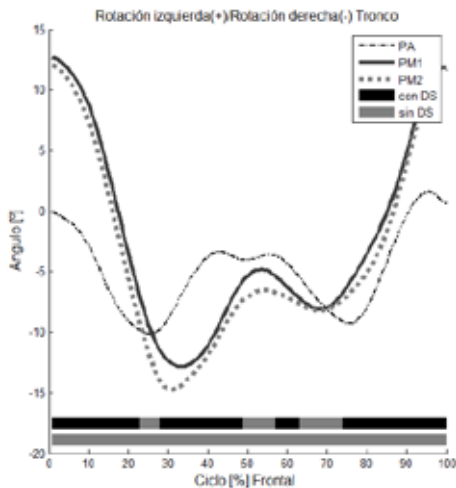


Figura 12: Ángulo de rotación izquierda y derecha del tronco respecto a la pelvis para el lanzamiento frontal en función del gesto de paleo.

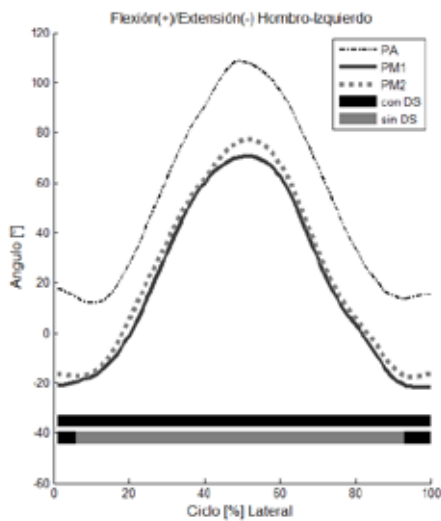


Figura 13: Ángulo de flexión y extensión de hombro izquierdo para el lanzamiento lateral, en función del gesto de paleo.

Flexión/extensión de hombro

En la Figura 13 se observa, el ángulo de flexión/extensión del hombro izquierdo en la dirección de lanzamiento lateral.

En el lanzamiento frontal durante la fase de descarga, existe una mayor flexión de hombro derecho con PM1 y PM2 respecto de PA, a pesar de que en el resto del ciclo el ángulo

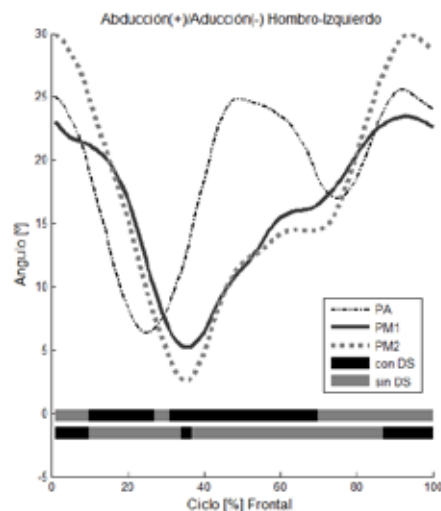
de flexión de hombro derecho es similar. En realidad en el momento de descarga con PA se produce una extensión del hombro derecho de unos 10° aproximadamente. Algo similar ocurre en los lanzamientos oblicuo y lateral, no mostrados en este artículo.

Contrariamente, en el caso del hombro izquierdo para lanzamiento lateral se aumenta la diferencia a 30° aproximadamente de flexión en todo el ciclo de paleo. De la misma forma ocurre en los lanzamientos frontal y oblicuo.

Abducción/Aducción de hombro

En la Figura 14 se observan los ángulos de abducción/aducción de hombro izquierdo para los lanzamientos frontal y oblicuo. En el lanzamiento frontal existe una menor abducción de hombro izquierdo con PM1 y PM2 respecto de PA en el momento de la carga. No existen diferencias significativas entre PA, PM1 y PM2 en el resto del ciclo.

Se encuentran diferencias significativas en la abducción/aducción de hombro izquierdo entre PA y PM1/PM2 prácticamente en todo el ciclo para el lanzamiento oblicuo. Con una menor abducción en las PM1 y PM2. Un comportamiento similar se observa en el lanzamiento lateral.



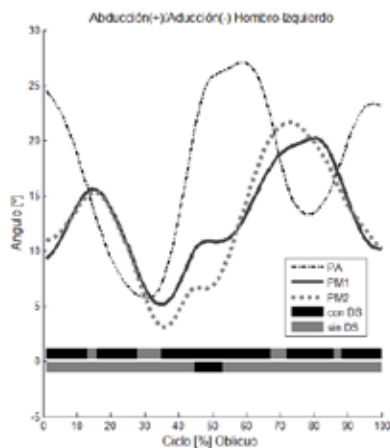


Figura 14: Ángulo de abducción/aducción de hombro izquierdo para el lanzamiento frontal (arriba) y el lanzamiento oblicuo (abajo) en función del gesto de paleo.

DISCUSIÓN



Figura 15: Momento de la carga de la pala con arena utilizando PA (izquierda) y PM1 (derecha) en la prueba de lanzamiento oblicuo.

Al realizar la carga con PA es necesario sostener la pala con la mano no dominante lo más cercano al punto de mayor peso para reducir el brazo de momento de la carga res-

pecto al punto de apoyo (mano no dominante), aumentar el brazo de momento entre el punto de apoyo y la resistencia (agarre de la mano dominante).

Esto provoca que al usar PA el tren superior deba acercarse al suelo (Figura 15). Sin embargo al utilizar el mango adicional se puede cargar la pala sosteniéndola con la mano no dominante desde una altura mayor, manteniendo similares brazos de palanca. Como se observa en la Figura 15 derecha la posición se mantiene mucho más erguida que en la imagen de la izquierda. Esto genera una cinemática y dinámica del movimiento de paleo considerablemente diferentes.

En este trabajo se evalúa la capacidad de depositar la carga de arena a una mayor altura (carretilla) con los tres diseños de pala y en tres diferentes direcciones de lanzamiento.

Se observa una disminución de la flexión de las articulaciones de cadera al utilizar PM1 y PM2 en comparación con PA en todo el ciclo de paleo y en todas las direcciones de lanzamiento. Esto se debe a la mayor distancia entre el agarre y el eje principal de la pala, la cual permite mantener una postura más erguida en todo el ciclo. La mayor reducción se produce en la fase de carga. Por lo tanto, se genera un menor esfuerzo en los músculos de la baja espalda. Asimismo esta posición genera una mayor comodidad en la tarea.

Al analizar el movimiento de abducción en la cadera izquierda (miembro no dominante) se puede verificar una mayor excursión angular con PA y en consecuencia mayor esfuerzo en el período de carga de la pala. Esto se relaciona con el propio requerimiento de que el tren superior deba acercarse al suelo al utilizar PA. En consecuencia, se genera un menor esfuerzo en los músculos aductores de cadera utilizando palas con mango adicional. Asimismo con PA se requiere una mayor excursión del ángulo de rotación de cadera izquierda respecto de PM1 y PM2, considerando que debe inclinarse más del lado izquierdo en la fase de carga (Figura 15). Esto también significa un mayor esfuerzo con el uso de PA respecto de PM1 y PM2.

En las rodillas se produce una mayor flexión

con el uso de PA, esto genera un mayor trabajo muscular. Por otra parte con PM1 y PM2 se reduce la inclinación lateral izquierda de tronco, reduciendo el esfuerzo muscular.

Una primera desventaja del uso de PM1 y PM2 respecto de PA podría ser la mayor excursión angular de la rotación del tronco respecto de la pelvis, que ocurre únicamente en el lanzamiento frontal.

La disminución del ángulo de flexión de hombro con las PM1 y PM2 respecto de PA está relacionada con la menor inclinación respectiva. Esto permite que se mantenga la carga más cercana al centro de masa del cuerpo en gran parte del ciclo.

En el análisis de los beneficios de utilizar un mango adicional se encuentran más las ventajas que desventajas. Principalmente, considerando los aspectos de esfuerzo y de comodidad al realizar el paleo. También se pudo evidenciar que la posición más erguida al utilizar PM1 y PM2 respecto de PA podría ser un importante factor de reducción de lesiones de espalda.

CONCLUSIONES

Cabe recordar que en las tareas con palas es necesaria la transferencia de carga del tronco y de los miembros superiores a los miembros inferiores, lo que hace importante obtener mejoras biomecánicas.

Al utilizar los mangos dobles se encontró que se mantiene una postura más erguida en el ejercicio, como se sabe, esto produce un cambio significativo en el control de desórdenes músculo esqueléticos.

Por ello las reducciones de los ángulos de flexión con estos novedosos prototipos de palas, se podría asociar a una disminución de la carga en las articulaciones y un esfuerzo mejor distribuido para los músculos que tienen acción en ellas.

Estos hallazgos son congruentes con estudios previos [5-7] que demuestran una alta asociación entre la magnitud del ángulo de flexión del tronco y las lesiones de espalda baja, por ello las herramientas de trabajo que contribuyen a reducir la posición y ángulo del

tronco pueden tener un impacto significativo en el control de este tipo de lesiones.

Adicionalmente se debe considerar que las lesiones por fatiga a nivel lumbar son más frecuentes cuando las tareas de movilización de cargas son ejecutadas con altas frecuencias y con mayor flexión de tronco. En este trabajo se demuestra que la inclinación lateral izquierda de tronco respecto a la pelvis se reduce con el uso del nuevo diseño de palas con doble mango.

No se observaron diferencias significativas entre los dos diseños de mango adicional. Esto se corresponde con la similitud en las características de peso y longitud.

Este trabajo permite entender diferencias en la cinemática del tronco, de los miembros superiores e inferiores, así como los cambios en la cintura pélvica con el uso de la pala con y sin los mangos adicionales. Se requiere continuar con más estudios con un mayor número de participantes en el gesto de paleo con estas herramientas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa Biassoni e Hijos S.A.I.C.A. por proveer los prototipos de palas evaluadas.

REFERENCIAS

- [1] Valero, E.; Sivanathan, A.; Bosché, F.; Abdel-Wahab, M. (2016). Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network. *Applied Ergonomics*, 54,120-30.
- [2] Abásolo L, Lajas C, León L, Carmona L, Macarrón P, Candelas G, et al. (2012) Prognostic factors for long-term work disability due to musculoskeletal disorders. *Rheumatology International*, 32(12), 3831–9.
- [3] Entzel, P.; Albers, J.; Welch L. (2007). Best practices for preventing musculoskeletal disorders in masonry: Stakeholder perspectives. *Applied Ergonomics*, 38(5), 557–66.
- [4] Arenas-Ortiz, L.; Cantú-Gómez, Ó. (2013) Factores de riesgo de trastornos músculo-esqueléticos crónicos laborales. *Medicina Interna de Mexico*, 29(4), 370–9.

- [5] Latza, U.; Karmaus, W.; Stürmer, T.; Steiner, M.; Neth, A.; Rehder, U. (2000). Cohort study of occupational risk factors of low back pain in construction workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(1), 28–34.
- [6] Lewinson, R.T.; Rouhi, G.; Robertson, D.G.E. (2014) Influence of snow shovel shaft configuration on lumbosacral biomechanics during a load-lifting task. *Applied Ergonomics*, 45(2 PB), 234-8.
- [7] Huang CT, Paquet V. (2002) Kinematic evaluation of two snow-shovel designs. *Int J IndErgon.*; 29(6), 319–30.
- [8] Rab, G.; Petuskey, K.; Bagley, A. (2002) A Method for determination of upper extremity kinematics. *Gait and Posture*, 15, 113–119
- [9] Wu2005_ISB *recommentation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion* - Part II- shoulder, elbow, wrist and hand.
- [10] Vaughan, C. L.; Davis, B.L.; O'connor, J.C. (1992) *Dynamics of human gait*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.