

**COLOMBIAN JOURNAL OF ADVANCED TECHNOLOGIES
INDICATIONS FOR PAPER SUBMISSION**

**Síntesis De Mecanismo para Rehabilitación de Rodilla de Pacientes con Diferentes
Pacientes Teniendo como Punto de Referencia el Tobillo**

**MSc(c). Jorge Araque, PhD. César Peña,
PhD. Gonzalo Moreno**

Universidad de Pamplona

Comité Editorial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144

E-mail: { jorge.araque, cesarapc, gmoren }@unipamplona.edu.co

Abstract: This article analyzes different trajectories presented by different patients when performing knee rehabilitation movements, which are flexion-extension movements in the supine position, analyzing the trajectory taking the patient's ankle as a reference point. this with the aim of proposing a mechanism that can offer a solution to follow more than one trajectory and thus can be used in more than one, that is, in more than one patient. The main objective of this study is to improve previous designs that comply with the trajectory for a patient and thus be able to fulfill a family of trajectories that make it possible to use it in different people.

Keywords: Trajectories, procedures, publication, IFAC format.

Resumen: En este artículo se analizan diferentes trayectorias que presentan diferentes pacientes a la hora de realizar los movimientos de rehabilitación de rodilla los cuales son los de flexo-extensión en posición supino, haciendo el análisis de la trayectoria tomando como punto de referencia el tobillo del paciente, esto con el objetivo de proponer un mecanismo que pueda ofrecer solución para seguir más de una trayectoria y así pueda ser usado en más de una, es decir, en más de un paciente. El objetivo principal de este estudio es el de mejorar diseños anteriores que cumplen con la trayectoria para un paciente y de esta forma poder cumplir con una familia de trayectorias que hagan posible el uso del mismo en diferentes personas.

Palabras clave: Trajectories, Supine Position, Family of Trajectories, Reference Point, Ankle.

1. INTRODUCCION

Los mecanismos diseñados con anterioridad tenían como base de diseño las trayectorias con punto de referencia en la rodilla, tomando la trayectoria de un paciente, por lo tanto en el uso de estos mecanismos se observaba la limitante que al tener en cuenta otros pacientes con diferentes medidas antropométricas estos mecanismos no funcionaban, también se puede

ver que la trayectoria del mismo paciente no es seguida completamente(Araque et al., 2018, 2019).

Al observar los dos mecanismos anteriormente diseñados para dar solución al seguimiento de la trayectoria para rehabilitación se puede analizar que estos fueron diseñados a partir del movimiento que hace la rodilla y este resulta siendo limitante para poder hallar ciertas

medidas necesarias que permitan diseñar y calcular un mecanismo que pueda cumplir de mejor forma y con diferentes pacientes los ejercicios de rehabilitación (Ceccarelli et al., 2019; Russo et al., 2018; Russo & Ceccarelli, 2018).

De este análisis se pudo determinar que la trayectoria que se debe tener en cuenta para realizar un diseño más efectivo que pueda cumplir con lo requerido es la que tiene como punto de referencia el tobillo, ya que, si se observa la forma en que el fisioterapeuta toma al paciente desde su pie para llevar a cabo los movimientos pertinentes y de allí se deduce que la mejor forma para tomarlo desde la perspectiva del mecanismo es el tobillo (Akdoğan et al., 2006; Ángel et al., 2003; Araque et al., 2018; Beatriz et al., 1995; Blanco Ortega et al., 2012; Button et al., 2013; Low & Yin, 2007; Wang, 2009; Weinberg et al., 2007; Wong et al., 2012).

2. ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS

Al tomar un paciente como referencia para observar la trayectoria desde el punto de referencia del tobillo se halla una trayectoria que representa el movimiento de flexo-extensión que es usado para la rehabilitación de pacientes que presentan atrofia muscular, ya que, se quiere que el mecanismo funcione para más de un paciente y tomar los datos de cada persona resulta poco práctico a la hora de realizar la rehabilitación, lo que se hace es analizar los ángulos que presentan las extremidades del paciente al cual se le tomaron los datos entre ellos el arco de movilidad de la rodilla, haciendo una comparación con los valores X, Y de la función que describe la trayectoria del paciente del que se obtienen los datos, de esta forma se puede calcular la trayectoria que debe realizar el paciente de diferentes medidas antropométricas basándose en los ángulos a los que debe llegar en cada posición de la trayectoria (Araque et al., 2018, 2019; Martínez-Soto et al., 2010).

Los cálculos se analizan de la siguiente forma:

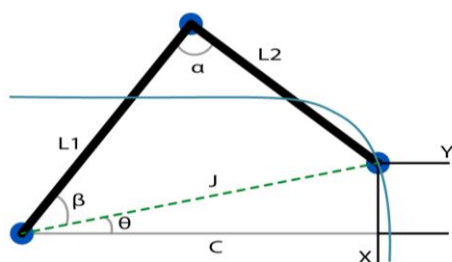


Fig. 1. Trayectoria de paciente analizado

Donde: x, y son conocidas.

L_1 = Es la medida de la cadera a la rodilla.

L_2 = Es la medida de la rodilla al tobillo.

$$C = L_1 + L_2 - X$$

$$\text{Cuando } x = 0 \quad \beta = 180^\circ; \quad \alpha = 0; \quad \theta = 0$$

$$J = \sqrt{C^2 + Y^2}$$

$$\sin \theta = \frac{Y}{J}$$

$$\cos \theta = \frac{C}{J}$$

$$\theta = \text{atan2} \left(\frac{Y}{J}, \frac{C}{J} \right)$$

$$L_2^2 = L_1^2 + J^2 - 2 * L_1 * J * \cos \alpha \quad \text{CODO} = 1$$

$$\cos \alpha = \frac{L_1^2 + J^2 - L_2^2}{2 * L_1 * J}$$

$$\sin \alpha = \text{CODO} * \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$$

$$\alpha = \text{atan2} (\sin \alpha, \cos \alpha)$$

$$J^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 * L_1 * L_2 \cos \beta$$

$$\cos \beta = \frac{L_1^2 + L_2^2 - J^2}{2 * L_1 * L_2}$$

$$\sin \beta = \text{CODO} * \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$$

$$\beta = \text{atan2} (\sin \beta, \cos \beta)$$

Donde β puede ser asociado al ángulo de arco de movilidad que se necesita medir en el paciente de la siguiente manera:

$$\text{Arco de movilidad} = 180 - \beta$$

Dando así el ángulo de la rodilla que se está recuperando.

Con los anteriores ángulos hallados a partir de la trayectoria del paciente analizado se hacen los cálculos para hallar la trayectoria a seguir de cada uno de los pacientes que se vayan a tratar, en este caso se tomaron las medidas de diferentes pacientes y se halla cada una de las trayectorias de estos, se toman las siguientes medidas.

Tabla 1: Medidas antropométricas de extremidades inferiores

Paciente	Medida cadera – rodilla (cm)	Medida rodilla – tobillo (cm)
1	40	40
2	45	45
3	43,5	44
4	50	48
5	41	38
6	51	47
7	33	32
8	35	43
9	37	38
10	39	39
11	24	17

Los cálculos que se hacen son los siguientes:

Dónde:

θ, α y β son conocidos.

L_1 = Es la medida de la cadera a la rodilla.

L_2 = Es la medida de la rodilla al tobillo.

$$J^2 = L_1^2 + L_2^2 = 2 * L_1 * L_2 \cos \beta$$

$$\sin \theta = \frac{Y}{J} \rightarrow Y = J * \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{C}{J} \rightarrow C = J * \cos \theta$$

$$C = L_1 + L_2 - X \rightarrow X = L_1 + L_2 - C$$

Con estas ecuaciones se consiguen obtener las trayectorias y ángulos de la pierna de pacientes con diferentes medidas, ya que, se observan los ángulos del paciente medido y con esto se halla la posición en X, Y que debe alcanzar la pierna de diferentes pacientes.

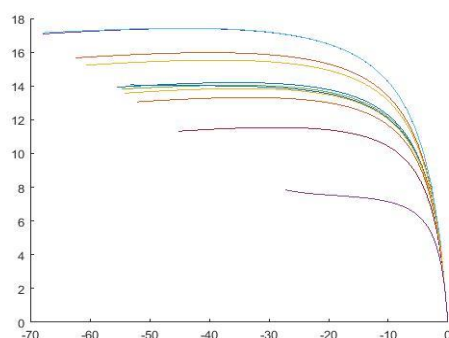


Fig. 2. Trayectorias halladas de las medidas antropométricas de la Tabla 1.

3. SÍNTESIS DEL MECANISMO

Para hallar el mecanismo que debe ser utilizado para poder realizar las trayectorias de los pacientes de la tabla 1 se sigue una metodología que ayudará a encontrar el más adecuado y que pueda cumplir con los requerimientos.

3.1 Síntesis de Número

M = Movilidad, cuando se trata de una curva su valor es 1, cuando se trata de un área de trabajo su valor es 2.

X = Espacio de trabajo, cuando se trata de un plano su valor es 3, cuando se trata del espacio su valor es 6.

J = Número de circuitos del mecanismo, depende de las condiciones de diseño.

$$M = 2$$

$$\lambda = 3$$

$$J = 1$$

$$M = -\lambda * J + j \rightarrow \text{Ecuación de Movilidad}$$

j = Número de juntas

$$j = M + \lambda J$$

$$j = 2 + (3 * 1)$$

$$j = 5$$

$-J = n - 1 - j \rightarrow \text{Ecuación de número de circuitos.}$

$$n = -J + 1 + j$$

$$n = -1 + 1 + 5$$

$$n = 5$$

$e = j * 2 \rightarrow \text{Ecuación de juntas}$

$$e = 5 * 2 = 10$$

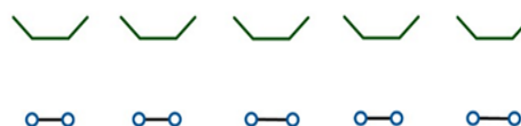


Fig. 3. Análisis de eslabones y juntas para la síntesis de tipo.

$$B_y = L_1 * \text{sen}(\theta_1) + A_y$$

$$D_x = L + A_x$$

$$E_x = L_3 * \cos(\theta_2) + L + A_x$$

$$E_y = L_3 * \text{sen}(\theta_2) + A_y$$

$$R = \sqrt{L - L_1 * \cos(\theta_1) + L_3 * \cos(\theta_2))^2 + (L_1 * \text{sen}(\theta_1) - (L_3 * \text{sen}(\theta_2)))^2}$$

$$\theta R = \text{atan2}(L_3 * \text{sen}(\theta_2) - L_1 * \text{sen}(\theta_1), L - L_1 * \cos(\theta_1) + L_3 * \cos(\theta_2))$$

$$\theta_{12} = \theta R + \text{acos}((R^2 + L_2^2 - L_4^2) / (2 * R * L_2))$$

$$C_x = B_x + L_2 * \cos(\theta_{12})$$

$$C_y = B_y + L_2 * \text{sen}(\theta_{12})$$

4. CONCLUSIONES

Aunque la trayectoria que se debe tener en cuenta para realizar los ejercicios de rehabilitación o sea ejercicios de flexo-extensión es la articulación de la rodilla se puede analizar que los fisioterapeutas toman el pie del paciente para llevar a cabo dichos ejercicios, de esta forma se observó la trayectoria del tobillo para tomar de este la información de la trayectoria y así se determinaron los cálculos necesarios para determinar el mecanismo adecuado y los diferentes movimientos necesarios para obtener las trayectorias de los diferentes pacientes.

REFERENCIAS

- Akdoğan, E., Taçgin, E., & Adli, M. A. (2006). Intelligent control of a robot manipulator for knee rehabilitation. *Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Hogan 1985*, 695–703.
- Ángel, B., César, F., & José, M. (2003). *Tratamiento Fisioterápico de la Rodilla*. MacGraw-Hill.
- Araque, J., Cortés, C. P., & Contreras, G. G. M. (2019). *IMPROVEMENT OF A MECHANISM TO RECOVER FROM KNEE INJURY BY APPLYING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*. 10(12), 188–197.
- Araque, J., Peña, C., & Moreno, G. (2018). Synthesis for a Knee Rehabilitation Mechanism Applying Genetic Algorithms. *International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 19 (2018) Pp. 14451-*
- 14456 © Research India Publications. <http://www.Ripublication.Com>, 13(19), 14451–14456.
- Beatriz, A., Lucía, A., Abraham, A., Jorge, A., Eugenia, A., Carmenza, B., Blanca, C., Domingo, C., Luz, E., Nancy, G., Claudia, G., Libia, H., Diego, H., Liliana, H., Carlos, J., Nicolás, J., Helena, L., Norha, M., Rafael, N., ... Carlos, Z. (1995). *Rehabilitación en salud Una mirada médica necesaria* (R. Ricardo & L. Helena (eds.); Primera Ed). Universidad de Antioquia.
- Blanco Ortega, A., López Leyva, J. A., Vela Valdés, G., & Chávez Conde, E. (2012). Control of a knee rehabilitation machine using a virtual prototype. *Advances in Intelligent and Soft Computing, 133 AISC*, 601–609. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27552-4_81
- Button, K., van Deursen, R. W., Soldatova, L., & Spasić, I. (2013). TRAK ontology: Defining standard care for the rehabilitation of knee conditions. *Journal of Biomedical Informatics, 46*(4), 615–625. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2013.04.009>
- Ceccarelli, M., Ferrara, L., & Petuya, V. (2019). *Design of a Cable-Driven Device for Elbow Rehabilitation and Exercise BT - Interdisciplinary Applications of Kinematics*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16423-2>
- Low, K. H., & Yin, Y. (2007). Providing assistance to knee in the design of a portable active orthotic device. *2006 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, CASE*, 188–193. <https://doi.org/10.1109/COASE.2006.326878>
- Martinez-Soto, R., Castillo, O., Aguilar, L. T., & Melin, P. (2010). Fuzzy logic controllers optimization using genetic algorithms and particle swarm optimization. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6438 LNAI(PART 2), 475–486. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16773-7_41
- Russo, M., Cafolla, D., & Ceccarelli, M. (2018). Design and experiments of a novel humanoid robot with parallel architectures. *Robotics, 7*(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/robotics7040079>
- Russo, M., & Ceccarelli, M. (2018). Kinematic design of a tripod parallel mechanism for robotic legs. *Mechanisms and Machine Science, 52*, 121–130. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60702-3_13

- Wang, D. (2009). An Adaptive Haptic Interaction Architecture for Knee Rehabilitation Robot. *Proceedings Of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation August 9 - 12, Changchun, China*, 84–89.
- Weinberg, B., Nikitczuk, J., Patel, S., Patrilli, B., Mavroidis, C., Bonato, P., & Canavan, P. (2007). Design, control and human testing of an active knee rehabilitation orthotic device. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, April*, 4126–4133.
<https://doi.org/10.1109/ROBOT.2007.364113>
- Wong, Z. Y., Teng, C. M., & Chong, Y. Z. (2012). Power assisted pneumatic-based knee-ankle-foot-orthosis for rehabilitation. *2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences, IECBES 2012, 13(4)*, 300–304.
<https://doi.org/10.1109/IECBES.2012.6498058>